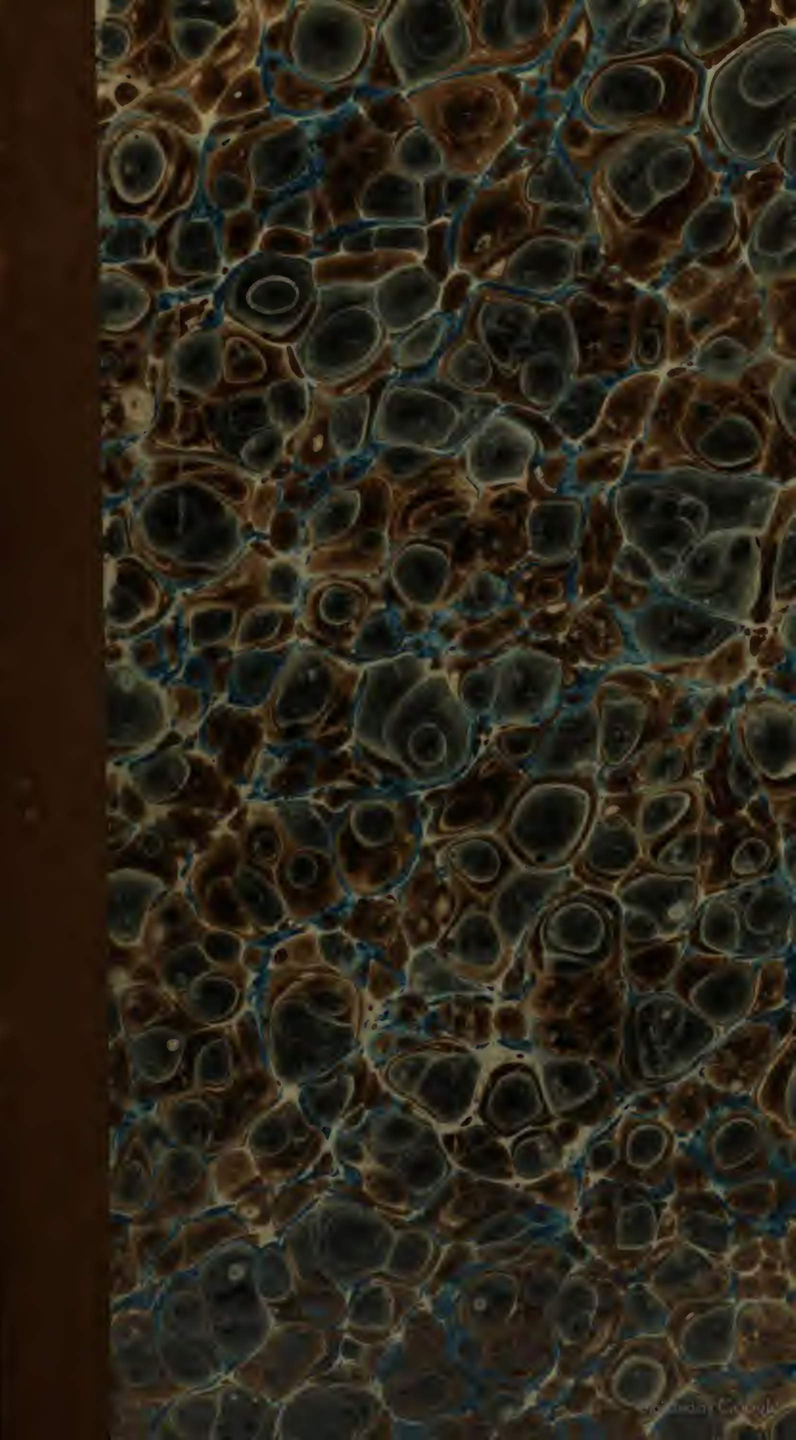




Physikalisches Wörterbuch

VII. Band.

Zweite Abtheilung.

Po — R.

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Siebenter Band.

Zweite Abtheilung.

Po — R.



Mit Kupfertafeln VIII bis XXVI.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1834.

P.

Pol.

Polus; le Pole; *the Pole.*

Das Wort Pol ist aus dem griechischen *πόλος* entnommen, welches von *πέλω* oder *πολέω* (ich drehe um) abgeleitet wird und die Endpuncte einer Linie oder Axe bezeichnet, um welche sich ein Körper dreht. Auf der Kugel gehört daher zu jedem Kreise derjenige Punct als *Pol*, welcher, in der Oberfläche der Kugel liegend, von allen Puncten des Kreises gleich weit entfernt ist. Da es allemal zwei solche, an den Enden eines Durchmessers einander gegenüber liegende, Puncte giebt, so hat jeder Kreis zwei Pole. Wenn auf der Kugel mehrere Kreise, deren Ebenen parallel sind, gezeichnet vorkommen, so haben sie alle dieselben Pole, indem diese in der gegen die Ebenen aller dieser Kreise senkrechten Linie da liegen, wo diese die Kugelfläche schneidet.

Die Pole zweier gröſsten Kreise der Kugel liegen auf der Kugelfläche um eben so viele Grade auseinander, als der Neigungswinkel der Ebenen jener beiden Kreise angiebt; denn ihr Abstand ist das Maſs des Winkels, den die beiden gegen die Ebenen der Kreise durch den Mittelpunct der Kugel gezogenen Senkrechten mit einander machen. Die Ebene des durch die vier Pole zweier gröſsten Kreise gezogenen Kreises ist zugleich senkrecht auf die Durchschnittslinie dieser Kreise.

Wenn eine Kugel sich um ihre Axe dreht, so heiſsen die Endpuncte der Axe vorzugsweise *die Pole* oder auch die Pole der Umdrehung. Daher sind die beiden *Pole der Erde* die Puncte, welche bei der Rotation der Erde unbewegt bleiben. Sie sind zugleich die Pole des Erd-Aequators und der zu ihm gehörenden Paral-

lelkreise. Ebenso versteht man unter den *Polen der Himmelskugel* oder den *Weltpolen* die Puncte, die bei der scheinbaren Drehung der Himmelskugel ruhend bleiben [1].

Die *Pole der Ekliptik* (*Poli Eclipticès, les Poles de l'Écliptique*) liegen 90° von jedem Puncte der als ein gröſster Kreis gleichsam an die Himmelskugel gezeichneten Ekliptik. Sie stehn um ebensoviel von den Weltpolen oder den Polen der Himmelskugel ab, als die Schiefe der Ekliptik beträgt, und liegen in dem durch die Weltpole und Solstitialpuncte gelegten gröſsten Kreise. Die gegen den Pol der Ekliptik gerichtete Linie ist senkrecht gegen die Ebene, in welcher die Erde sich um die Sonne bewegt, und der Abstand des Poles der Ekliptik vom Zenith zeigt uns in jedem Augenblicke die Neigung unsers Horizontes gegen die Ebene der Erdbahn. Der Nordpol der Ekliptik liegt im Sternbilde des Drachen, zwischen dem Polarsterne und dem Kopfe des Drachen ungefähr da, wo eine durch die sogenannten Vorderräder des groſsen Wagens gehende Linie verlängert in jene Richtungslinie einschneidet. Der Südpol der Ekliptik liegt im Schwertfische.

Da der Pol der Ekliptik 23½° vom Weltpole entfernt liegt, so durchläuft er vermöge der täglichen Bewegung der Erde scheinbar einen Kreis am Himmel. Unter den Sternen verändert der Pol der Ekliptik seine Stelle sehr wenig, statt daſs der Weltpol, der Drehungspol der Himmelskugel, im Laufe von Jahrhunderten fortrückt. Diese letzte Bewegung ist verbunden mit dem Rückgehen der Nachtgleichen und entsteht dadurch, daſs die Umdrehungs-Axe der Erde sich nach und nach gegen andere Sterne wendet; diese Aenderung der Lage der Erd-Axe ist so, daſs der Weltpol einen Kreis um den Pol der Ekliptik beschreibt. Dieser selbst aber ändert nur um so wenig, als die Ebene der Erdbahn selbst ihre Lage ändert, seine Stellung am Himmel. B.

Polarisation des Lichts.

Polarisatio luminis; Polarisation de la lumière; *Polarisation of light.*

1. Wir sind gewohnt, einen Lichtstrahl, der auf eine spie-

---

1 Vergl. Art. *Polarstern.*

gelnde Oberfläche fällt, immer zurückgeworfen zu sehn, und diese Erfahrung findet auch ohne Ausnahme statt für das unmittelbar von der Sonne oder von einer Lichtflamme zu der Spiegelfläche gelangende Licht; aber wenn der Lichtstrahl schon eine Zurückwerfung oder Brechung erlitten hat, oder wenn er durch einen doppelt brechenden Krystall gegangen ist, so ist es nicht so ohne Ausnahme wahr, daſs dieser Lichtstrahl an der polirten Oberfläche eines durchsichtigen Körpers zurückgeworfen wird, sondern wenn dieses auch statt findet, wenn die Oberfläche ihm an seiner einen Seite dargeboten wird, so findet es nicht immer auch dann statt, wenn die Spiegelfläche an einer andern Seite liegt. Der Lichtstrahl zeigt also an verschiedenen Seiten verschiedene Eigenschaften, und dieses ist es, was zu dem Namen *Polarisation*, *Polarisirung* geführt hat. Biot[1] bezieht diese Eigenschaft ganz entschieden auf die Lage der Lichttheilchen, die sich da, wo die Polarisation statt findet, im Raume so ordnen, daſs ihre übereinstimmenden Seiten alle nach *einer* Gegend gewandt sind, und vergleicht die Kräfte, welche dieses bewirken, mit der magnetischen Kraft, die eine Menge Magnetnadeln nöthigt, ihre Pole alle nach *einer* Richtung zu wenden[2].

2. Schon Huyghens hat eine Erscheinung beobachtet, welche diese Veränderung, die der Lichtstrahl unter gewissen Umständen erleidet, zeigt, und hat dabei bemerkt, daſs seine Erklärung der übrigen Erscheinungen der doppelten Brechung mit Hülfe der Undulationstheorie noch eine Hinzufügung anderer Voraussetzungen fordern würde, um auf diese Erscheinung angewandt zu werden. Die Beobachtung ist diese. Wenn ein Lichtstrahl durch den isländischen Krystall oder Doppelspath gegangen ist und dort die doppelte Brechung oder die Zerspaltung in zwei Lichtstrahlen erlitten hat, deren einer nach den gewöhnlichen Brechungsgesetzen, der andere nach einem ungewöhnlichen Gesetze in diesem Krystalle gebrochen worden ist, so verhalten diese beiden Lichtstrahlen, wenn sie auf einen zweiten Doppelspathkrystall fallen, sich nicht wie gewöhnliche Lichtstrahlen, sondern wenn beide Krystalle mit ihren den Strahl

1 Traité de Physique u. s. w. T. IV. p. 253.

2 Die Circularpolarisation ist in dieser Erklärung nicht mit enthalten. S. nr. 114.

auffangenden Seiten parallel stehn, und zugleich so, dafs die rhomboidalischen Seiten eine gleiche Lage haben, so zerspalten die zwei Strahlen sich nicht in vier, sondern beide gehn ungespalten durch; dasselbe findet statt, wenn man den zweiten Krystall, mit Beibehaltung der parallelen Lage der Einfallsflächen, um 90° dreht; aber es findet nicht mehr statt, wenn man diese Drehung weniger als 90° betragen läfst oder sie bis über 90° fortführt, in welchem Falle beide Strahlen wieder gespalten werden und vier hervorgehende Strahlen geben. Führt man den Versuch mit Genauigkeit aus, so sieht man, a) wenn beide Krystalle in ganz ähnlicher Lage sind, also auch die zwischen den beiden stumpfen Winkeln des einen wie des andern Krystalls gezogenen Axen parallel liegen, dafs der im ersten Krystalle gewöhnlich gebrochene Strahl auch im zweiten die gewöhnliche Brechung leidet, der ungewöhnlich gebrochene Strahl die ungewöhnliche Brechung; b) wenn man den zweiten Krystall so dreht, dafs zwar die Einfalls-Ebenen beider parallel bleiben, aber die Lage des zweiten um 90° von der Lage des ersten abweicht, so wird derjenige Strahl im zweiten Krystalle ungewöhnlich gebrochen, der im ersten gewöhnlich gebrochen war, und der im ersten ungewöhnlich gebrochene leidet hier die gewöhnliche Brechung; c) wenn jene Drehung 45° beträgt, so sind beide aus dem ersten Krystalle hervorgegangene Strahlen in zwei gleiche Strahlen gespalten, statt dafs diese vier Strahlen ungleich an Intensität sind, wenn die Drehung zwischen 0° und 45° oder zwischen 45° und 90° liegt; je näher die Drehung an 0° liegt, desto schwächer tritt aus dem zuerst gewöhnlich gebrochenen Strahle der ungewöhnlich gebrochene und aus dem ungewöhnlich gebrochenen der gewöhnlich gebrochene hervor, während die im zweiten Krystalle nach demselben Gesetze, wie im ersten, gebrochenen Strahlen eine starke Intensität zeigen, und ebenso geht der im zweiten Krystalle nach dem einen und im ersten Krystalle nach dem andern Gesetze gebrochene Strahl mit stärkerer Intensität hervor, je näher die Drehung an 90° kommt.

3. An dieses Experiment knüpfte Newton in seiner Optik [1] die Frage, ob nicht die verschiedenen Seiten des Lichtstrahls verschiedene Eigenschaften besäfsen? Der eine Strahl zeige nämlich keineswegs eine immer statt findende Eigenschaft,

---

1 Newtoni Optice. Lib. III. Quaest. 18.

der ungewöhnlichen Brechung unterworfen zu seyn, der andre der gewöhnlichen Brechung, sondern es komme auf die Lage der einen oder der andern Seite des Strahls gegen die Richtung der ungewöhnlichen Brechung des Krystalls an. Die Eigenschaft, bald gewöhnlich, bald ungewöhnlich gebrochen zu werden, sah Newton als eine *dispositio congenita* der Lichtstrahlen an; auch die auf die erste Oberfläche eines Krystalls fallenden Strahlen werden, glaubt er, nur darum der eine gewöhnlich, der andre ungewöhnlich gebrochen, weil bei einigen Lichttheilchen die Seite gewöhnlicher Brechung, bei den andern die Seite ungewöhnlicher Brechung der ungewöhnlich brechenden Gegend oder Seite des Krystalls zugewandt waren.

4. Diese Erscheinung blieb als ein einzelnes Räthsel unerklärt, bis Malus die doppelte Brechung einer neuen Untersuchung unterwarf. Diese zeigte [1], dafs dieselbe Uebereinstimmung der Einwirkung, welche sich bei zwei Doppelspathkrystallen fand, bei allen zwei doppelt brechenden Materien statt finde. War ein gewöhnlicher Strahl durch Bergkrystall doppelt gebrochen und traf dann auf einen Kalkspath (Doppelspath), so zeigten sich jene beiden Strahlen denselben Gesetzen unterworfen, wie wenn sie aus einem Kalkspath hervorgegangen wären, und es ergab sich also, dafs die Modification, welche bei der doppelten Brechung der ungewöhnlich gebrochene Strahl und welche der gewöhnlich gebrochene Strahl erlitten hat, eine und dieselbe ist, es mochte die doppeltbrechende Substanz seyn, welche man wollte. Malus bemerkte, dafs man die Lichtstrahlen, welche diese Modification erlitten haben, erkennen könne, wenn man sie, senkrecht auffallend auf die Oberfläche eines Doppelspaths, durch diesen zum Auge gelangen liefse, indem die zwei Bilder, die man dann sieht, bei jeder Stellung des Doppelspaths gleiche Intensität haben, wenn der Strahl ein unpolarisirter Strahl ist, ein solcher, wie wir ihn von der Sonne und von brennenden Körpern unmittelbar erhalten, dagegen zwei ungleiche Bilder hervorgehn, und zwar wechselnd an Intensität bei der Drehung des Doppelspathkrystalls, wenn der Strahl polarisirt ist. Besteht der Strahl ganz aus polarisirtem Lichte, so verschwindet bei dieser Drehung des Krystalls das eine Bild

1 Mém. sur la théorie de la double réfraction. Paris 1810. p. 220. Auch G. XXXI. 274.

bei gewissen Lagen des Krystalls gänzlich; ist er gemischt aus polarisirtem und unpolarisirtem Lichte, so zeigt sich wenigstens eine bald mehr bald minder merkliche Ungleichheit beider Bilder, die bei jeder Viertel-Umdrehung ihr Maximum und Minimum erreicht.

I. Polarisirung durch Zurückwerfung von spiegelnden Oberflächen.

5. Diese Bekanntschaft mit einem Mittel zur Erkennung der polarisirten Strahlen gab die Veranlassung, dafs Malus in den durch Spiegelung reflectirten Strahlen eine Polarisation erkannte. Er bemerkte nämlich, dafs das von Fenstern reflectirte Sonnenlicht, wenn er es durch einen doppelt brechenden Körper betrachtete, zwei Bilder von ungleicher Intensität gab, und dafs unter diesen Bildern das eine oder das andere lebhafter hervortrat, wenn die Drehung des doppelt brechenden Körpers einen Quadranten durchlief [1]. Hieran knüpfte sich nun die erste von Malus gemachte wichtige Entdeckung, die als Grundlage aller neuern Untersuchungen über das polarisirte Licht anzusehn ist.

6. Wenn man den Sonnenstrahl oder das Licht einer Flamme oder das Licht weifser Wolken auf eine unbelegte Glasplatte fallen läfst und dabei den Winkel des Strahls mit der Glasplatte so wählt, dafs er ungefähr 34° beträgt oder der Einfallswinkel = 56° ist, so wird dieser Strahl, wie immer, unter demselben Winkel zurückgeworfen, und man bemerkt nichts, wodurch sich hier der Erfolg von dem Erfolge in jedem andern Falle unterschiede. Läfst man diesen reflectirten Strahl auf eine zweite unbelegte Glasplatte fallen, die mit jener parallel ist, so wird er auch von dieser zurückgeworfen und zeigt nichts merkwürdiges; aber wenn man die zweite Glasplatte so um den Strahl bewegt, dafs dieser stets einen Winkel von 34° mit ihrer Fläche bildet, so nimmt die Intensität des zurückgeworfenen Strahls ab, und dieser verschwindet völlig, wenn man die Glasplatte ein Viertel eines Umlaufs hat zurücklegen lassen; setzt man die Bewegung weiter fort, so fängt der Strahl wieder an zurückgeworfen zu werden, und wird vollkommen gut zurückgeworfen, wenn die Bewegung der Glasplatte um den schon einmal unter dem bestimmten Winkel reflectirten Strahl einen halben Umlauf vollendet

1 Herschel vom Lichte. §. 822.

hat. Eben diese Erscheinungen erneuern sich, wenn man die Glasplatte die andere Hälfte des Umlaufs zurücklegen läfst.

In allen diesen Fällen bleibt das Gesetz, dafs der Zurückwerfungswinkel dem Einfallswinkel gleich ist und dafs der einfallende und der zurückgeworfene Strahl mit dem Einfallslothe in einer Ebene liegt, ungeändert; die Intensität des reflectirten Strahls ist es allein, welche bei der zweiten Zurückwerfung Aenderungen leidet.

7. Dieser Versuch läfst sich, wenn man den mit dem Einfallslothe gebildeten Einfallswinkel von 56° den *Polarisationswinkel für Glas* nennt, unter folgenden allgemeinen Ausdruck bringen. Wenn ein Strahl gewöhnlichen Lichts unter dem Polarisationswinkel auf eine unbelegte Glastafel fällt, so wird der von ihr reflectirte Lichtstrahl von einer unter demselben Winkel gegen ihn geneigten Glastafel zwar vollkommen gut zurückgeworfen, wenn die zweite Reflexions-Ebene (die Ebene, in welcher der einfallende und der reflectirte Strahl sich befinden) mit der ersten zusammenfällt; aber die Zurückwerfung an der zweiten Tafel hört völlig auf, wenn die zweite Reflexions-Ebene senkrecht gegen die erste ist, und die Intensität des reflectirten Strahls nimmt überhaupt ab, je mehr die Ebene der zweiten Reflexion von der Ebene der ersten Reflexion abweicht[1].

8. Um dieses ohne künstliche Apparate zu zeigen, bedarf man nur zweier Glasplatten, die man am besten an der hintern Seite mit Tusche schwärzt, damit man durch die hinter dem Glase liegenden Gegenstände nicht gehindert werde. Man schneidet dann ein Dreieck BAC so, dafs der Winkel A = 34° ist, legt dieses horizontal und stellt bei A die eine Glasplatte cd vertical auf. Bei B hält man das Auge in eben der Höhe wie die Mitte der Glasplatte und läfst in D in gleicher Höhe eine Lichtflamme so aufstellen, dafs das Auge B das Bild der Flamme in der Glasplatte A gespiegelt sieht; dann ist die erste Reflexions-Ebene horizontal, nämlich DAB. Während nun Flamme und Glasplatte ihre Stellung behalten, bringt man in B die zweite Glasplatte so an, dafs ihre horizontale Seite auf AB senkrecht ist, und neigt sie gegen den Horizont; stellt man

Fig. 83.

1 Diese Versuche wurden von MALUS im J. 1808 bekannt gemacht. G. XXXI. 274.

dann das Auge so, daſs man die Flamme durch zweimalige Spiegelung sieht oder daſs der vom ersten Spiegel A kommende Strahl abermals in B zurückgeworfen das Auge erreicht, so bemerkt man, daſs das Bild der Flamme fort und fort schwächer wird, wenn man die Platte B immer mehr von der verticalen Lage entfernt, und wenn der Strahl AB 34° mit ihr macht, so verschwindet das Bild der Flamme beinahe gänzlich, tritt aber wieder merklicher hervor, wenn der Winkel des Strahls mit der Platte gröſser oder kleiner wird. Es erhellt leicht, daſs bei dieser Stellung der zweiten Glasplatte, wenn man ab senkrecht auf AB bleiben läſst und die Platte um ab dreht, die zweite Zurückwerfung in einer verticalen Ebene statt findet, also die beiden Reflexions-Ebenen auf einander senkrecht stehn, und es ist daher den vorigen Angaben gemäſs, daſs, wenn der Polarisationswinkel als Einfallswinkel für beide Strahlen gewählt ist, der Strahl sich der zweiten Zurückwerfung entziehn muſs. Wählt man die Stellung des zweiten Spiegels anders, indem man ab nicht mehr senkrecht auf AB nimmt, so findet die starke Verdunkelung des Bildes bei keiner Neigung mehr so vollkommen statt.

9. Eine für zahlreiche Versuche sehr angemessene einfache Vorrichtung zu diesen Versuchen hat Biot angegeben [1]. Auf einem Fuſse ist, so daſs man eine Drehung in horizontaler und verticaler Richtung bewirken kann, die Röhre CE aufgestellt, oder statt einer cylindrischen Röhre sind auch nur die Ringe C und E parallel mit einander verbunden. Vor der einen Oeffnung C befindet sich eine an der Hinterseite geschwärzte Glasplatte, oder statt dieser noch besser eine geschliffene Obsidianplatte J, welche jede willkürliche Neigung gegen die Axe der Röhre erhalten kann. Die Gröſse dieser Neigung liest man an dem Gradbogen GH ab. Dieser Platte giebt man die dem Polarisationswinkel entsprechende Neigung von 34° gegen die Axe

Fig. 84.

1 Die hier beschriebene Maschine ist in einzelnen Theilen verschiedentlich abgeändert, z. B. in München insofern, als sich in dem vertical stehenden Rohre oben ein drehbarer Ring mit einem Prisma von isländischem Doppelspath befindet. Arago hat ihr eine Einrichtung gegeben, vermöge deren die polarisirten Strahlen auf einen transparenten Schirm fallen, um von mehreren Personen gleichzeitig aus der Ferne gesehn zu werden. Es würde zu weit führen, alle diese Einrichtungen einzeln zu beschreiben.

der Röhre und läfst einen Lichtstrahl so auffallen, dafs der reflectirte Strahl mit der Axe der Röhre zusammenfällt. Bei E ist ein Ring, der sich um die Axe der Röhre drehn läfst, angebracht und mit diesem ist die zweite Spiegelfläche L verbunden, der man zu dem Hauptversuche wieder die, mit Hülfe des Gradbogens MN zu bestimmende, Neigung von 34° gegen die Axe der Röhre giebt. An dem Ringe E befindet sich eine Gradtheilung, die 0° zeigt, wenn der so geneigte Spiegel L dem Spiegel J parallel ist, und an welcher man, wenn der Ring E mit dem Spiegel L gedreht wird, den Winkel abliest, den die beiden Reflexions-Ebenen (die Ebenen der Zurückwerfung am ersten und am zweiten Spiegel) mit einander machen. Stellt man nun das Auge so, dafs es den vom ersten Spiegel auf den zweiten geworfenen Strahl nach der zweiten Zurückwerfung empfängt, so kann man, während der Ring E um die Axe der Röhre CE gedrehet wird, die Veränderungen in der Intensität des Strahls beobachten, welche von der Neigung der beiden Reflexions-Ebenen gegen einander abhängen. Steht nämlich der Index des Ringes auf Null, während die Spiegel beide unter dem Polarisationswinkel geneigt sind, oder ist die Ebene des zweiten Spiegels der Ebene des ersten parallel, so hat der nach zweimaliger Zurückwerfung aus dem zweiten Spiegel hervorgehende Strahl ganz die Stärke, die wir unter diesen Umständen erwarten; dreht man den Ring, so nimmt die Intensität des Strahls ab, und wird fast völlig $= 0$, wenn der Ring bis 90° gedreht ist. Geht man weiter fort, so wird der zurückgeworfene Strahl wieder stärker, erlangt bei 180° dieselbe Stärke, die er bei 0° hatte, und durchläuft, wenn man die Drehung durch die zweite Hälfte des Kreises fortsetzt, dieselben Aenderungen, welche man von 0 bis 180° beobachtet hatte.

Am besten stellt man diesen Versuch so an, dafs man das Licht weifser Wolken oder des weifs bedeckten Himmels auf die Platte J auffallen läfst und den vom Spiegel L reflectirten Lichtstrahl beobachtet. Das Bild des Himmels erscheint im zweiten Spiegel hell und weifs, wenn der Index des Ringes auf 0° und 180° steht, aber völlig verfinstert, beinahe durchaus schwarz, wenn der Ring auf 90° oder 270° steht. Diese Erscheinungen treten nur dann vollkommen ein, wenn beide Spiegel unter dem Polarisationswinkel geneigt sind, weichen sie davon ab, so ändert sich zwar bei der Drehung des Ringes die

Intensität des zweimal reflectirten Strahls, aber er verschwindet nicht so beinahe gänzlich, wie bei der Stellung auf den Polarisationswinkel.

10. Nicht bloſs Glas ist geeignet, als zurückwerfender Spiegel diese Erscheinungen hervorzubringen, sondern auch andre spiegelnde Körper, als Wasser, Oele, polirtes Holz u. s. w., können dazu angewandt werden, nur Metalle und eben deshalb auch mit Metallbelegung versehene Gläser schicken sich nicht dazu. Bei jedem Körper ist der Winkel der vollkommensten Polarisirung, den ich für Glas zu 56 Grad mit dem Einfallslothe angegeben habe, ein anderer; aber der unter dem richtigen Winkel bei 1 vom Wasser oder Oele reflectirte Strahl hat genau dieselben Eigenschaften erlangt, und wenn der zweite Spiegel ein Glasspiegel ist, so muſs für ihn immer dieselbe Stellung auf den dem Glase angemessenen Polarisationswinkel statt finden, es mag der polarisirte Strahl, der vom ersten Spiegel herkommt, von welcher Substanz man will (wenn sie nicht, wie die Metalle, ungeeignet zur Polarisirung des Strahls ist) reflectirt seyn.

11. Wenn man den zweiten Spiegel an der Hinterseite ungeschwärzt läſst, um die durchgehenden Strahlen zu beobachten, so findet man zwar, daſs bei jeder Stellung dieses Spiegels ein groſser Theil des Strahls, welcher polarisirt auffiel, durchgelassen wird, aber die Menge des durchgelassenen Lichts nimmt zu, wenn der reflectirte Strahl schwächer wird, und ist dann am gröſsten, wenn gar kein Theil des polarisirten Strahls zurückgeworfen wird. Eine genauere Untersuchung des durchgelassenen Lichts zeigt, daſs dieses aus polarisirtem Lichte besteht, welches aber in einer andern Ebene, als der reflectirte Strahl, polarisirt ist.

12. Malus gab sich vergeblich Mühe, den für verschiedene Substanzen statt findenden Polarisationswinkel unter eine Regel zu bringen [1]; Brewster hat, nachdem auch ihn die Unregelmäſsigkeit beim Glase zuerst gehindert hatte, ein höchst einfaches Gesetz dafür entdeckt [2], dessen Richtigkeit er bei achtzehn Körpern nachwies. Wenn ein Lichtstrahl AB auf einen durchsichtigen Körper fällt, so geht ein Theil desselben gebro-

Fig. 85.

1 G. XXXVIII. 245.

2 Phil. Tr. 1815. 126.

chen nach C und ein anderer Theil wird nach D zurückgeworfen; diese beiden Strahlen BC, BD machen einen Winkel von 180°, wenn AB senkrecht auffällt, und bei zunehmendem Einfallswinkel PBA nimmt DBC ab; es giebt einen ganz bestimmten Werth des Winkels PBA, für welchen DBC = 90° ist, und dieser Werth von PBA *ist der Winkel der vollkommensten Polarisation.* Nennt man den Winkel $ABP = \alpha$, so ist Cos. $FBC = \mu$. Sin. α, wenn μ das Brechungsverhältnifs ist, und wenn $DBC = 90°$ seyn soll, so mufs folglich Cos. $\alpha = \mu$. Sin. α seyn oder die Tangente des Winkels α gleich dem Bruche, welcher das Brechungsverhältnifs bei dem Uebergange aus dem dichtern Körper $= \frac{1}{\mu}$ ausdrückt. Nennt man also denjenigen Winkel, den der Strahl mit dem Einfallslothe machen mufs, damit die vollkommenste Polarisirung statt finde, den Polarisationswinkel, so ist seine Tangente $= \frac{1}{\mu}$. Dieses Gesetz zeigt sich als richtig nicht allein wenn der Strahl aus Luft in einen andern Körper, sondern auch wenn er aus diesem wieder in die Luft übergeht. Hieraus erklärt sich dann auch der Umstand von selbst, den Malus durch sorgfältige Versuche bestätigte, dafs auch, wenn die Rückseite GH mit FE parallel ist, der an GH reflectirte Strahl bei demselben Einfallswinkel ebenso und ebenso vollkommen wie BD polarisirt ist. Es ist nämlich bekannt, dafs, wenn GH parallel mit FE ist, der hervorgehende Strahl CK parallel mit AB ist, also $GCK = 90° - \alpha$; aber $LCG = BCH = FBC$ ist in unserm Falle $= \alpha$; war also der Strahl BC noch, auf ähnliche Art wie AB, der Polarisation fähig, so wird auch der Strahl CL ebenso wie BD polarisirt seyn, und er behält, auch indem er nach LM fortgeht, diese Polarisirung. Auch wenn der Lichtstrahl aus irgend einem andern brechenden Körper in einen zweiten übergeht, gilt eben dieses Gesetz, dafs der hervorgehende und der zurückgeworfene Strahl um 90° gegen einander geneigt seyn müssen, um die Polarisation zu bewirken. Wenn dieses nicht statt finden kann, so tritt auch keine vollkommene Polarisation ein, z. B. wenn ABCD eine mit parallelen Oberflächen begrenzte Wasserschicht ist, die in CD auf Glas liegt, wie es bei Brewster's Versuchen der Fall war [1]. Hier war

Fig. 86.

1 Phil. Tr. 1815. 140.

für das Glas das Brechungsverhältnifs = 0,656, also für den Uebergang von Wasser in Glas = 0,8747, der Strahl hätte also den Winkel FGD = 41° 11′ machen müssen, um vollkommen polarisirt zu seyn; aber da selbst für PFE = 90° FGD = 41° 25′ ist, so konnte der Strahl zwar der vollkommenen Polarisation immer näher kommen, je näher PFE = 90° wurde, aber sie nicht erreichen, wie auch die Versuche ergaben.

13. Die genaue Bestimmung des Polarisationswinkels kann also, bei einfarbigem Lichte wenigstens, dazu dienen, um das Brechungsverhältnifs zu bestimmen. Malus fand für Glas den Polarisationswinkel, wenn man darunter den Neigungswinkel versteht, den der Strahl mit dem Einfallslothe machen mufs, um polarisirt zu werden, = 54° 35′; für das von ihm angewandte Glas müfste also $\mu = 0{,}711$ oder $\frac{1}{\mu} = 1{,}406$ seyn für die am meisten Licht gebenden Strahlen; indefs ist diese Bestimmung nicht völlig genau, da gerade beim Glase Abweichungen von der Regel vorkommen. Setzt man für Tafelglas $\frac{1}{\mu} = 1{,}50$ bis 1,52, so mufs der Polarisationswinkel 56° 20′ bis 56° 40′ seyn; für Flintglas giebt der Werth $\frac{1}{\mu} = 1{,}57$ bis 1,64 den Polarisationswinkel = 57° 30′ bis 58° 38′; für Wasser giebt $\frac{1}{\mu} = 1{,}336$ den Polarisationswinkel = 53° 11′ (statt dafs Malus 52° 45′ fand, aber Biot's Versuche gaben ihn richtiger = 53° 4½′). Für Luft hatte Arago den Polarisationswinkel 45 bis 47 Grad gefunden, nach der Theorie sollte er 45° 0′ 32″ seyn. Für Diamant, wo $\frac{1}{\mu} = 2{,}477$, ist der Winkel der vollkommensten Polarisation 68° 1′.

August Seebeck hat dieses Gesetz einer neuen Prüfung unterworfen und es so genau richtig gefunden, dafs die Abweichung des beobachteten Polarisationswinkels von dem berechneten selten über einige Minuten hinaus ging. Aber die Ungleichheiten, die Brewster beim Glase bemerkt hatte, fand auch er. Brewter schrieb die grofsen Abweichungen, welche sich bei verschiedenen Glasstücken finden, einer chemischen Veränderung der Oberfläche des Glases zu, wodurch die blofs von der

Einwirkung der Oberfläche abhängende Polarisirung geändert werde, während die Brechung in der Glasmasse ungeändert bleibt. Er glaubte dieses dadurch bestätigt zu finden, dafs er an einem Stücke Flintglas durch blofse Erwärmung den Polarisationswinkel um 9° veränderte. Seebeck hält indefs dafür, dafs mehr die mechanische Behandlung Ursache dieser Ungleichheit sey, indem Gläser, die ganz frisch und mit besonderer Sorgfalt polirt waren, einen fast strenge mit dem Brechungsverhältnisse übereinstimmenden Polarisationswinkel hatten [1].

14. Da dieses Gesetz offenbar für jeden einzelnen Farbenstrahl statt finden wird, so kann nicht bei einem bestimmten Einfallswinkel alles weifse Licht vollkommen polarisirt seyn, und dieses ist ein Grund, warum der polarisirte Strahl bei der zweiten Spiegelung nie ganz vollkommen verschwindet, sondern der weifse Himmel auch bei den richtigsten Stellungen beider Spiegel nicht vollkommen schwarz, sondern nur blauschwarz oder in einem dem vollkommenen Schwarz sehr nahe kommenden Purpur erscheint. Indem man nämlich beide Spiegel auf den Winkel stellt, welcher der vollkommensten Polarisation der lichtvollsten Strahlen entspricht, entgehn die Strahlen, die gegen das Ende des prismatifchen Farbenbildes liegen, der vollkommenen Polarisirung, und ein Theil von ihnen wird daher noch zurückgeworfen. Für Flintglas, dessen Brechungsverhältnifs Fraunhofer $\frac{1}{\mu} = 1{,}628$ für rothe, 1,671 für violette Strahlen, die beide ziemlich nahe den Gränzen des Spectrums lagen, angiebt, würden 58° 27′ und 59° 6′ die Polarisationswinkel seyn; für die lichtvollsten Strahlen würde also ungefähr 58° 40′ der richtige Polarisationswinkel seyn, und wenn man beide Spiegel auf 58° 27′ stellte, so würden die gelben, grünen, blauen Strahlen im unpolarisirten Lichte vorwalten und das im zweiten Spiegel noch zurückgeworfene Licht der Wolken grünlich oder grünlich-blau seyn, dagegen würden die Wolken sich zum Roth hinneigend zeigen, wenn man die Spiegel auf 59° gestellt hätte. Arago sowohl als auch Brewster hat diesen Erfolg bemerkt, der bei Körpern, welche das Licht stark zerstreuen, am auffallendsten ist;

1 Poggend. XX. 39. Vorrichtungen, um den Polarisationswinkel für verschiedene Substanzen zu finden, giebt Biot an. Traité T. IV. p. 285.

dagegen fand Brewster *homogenes* Licht selbst beim Diamant unter dem richtigen Winkel vollkommen polarisirt [1]. Die ersteren Versuche hat auch Herschel wiederholt und man kann sich selbst leicht von ihrer Richtigkeit überzeugen.

Die Menge des bei dem Winkel der vollkommensten Polarisirung unpolarisirt bleibenden Lichtes ist gröfser bei Körpern, welche das Licht stark brechen und stark zerstreuen. Die starke Farbenzerstreuung verursacht nämlich, dafs eine verhältnifsmäfsig kleine Menge von Licht aus der Mitte der Farbenreihe bei der zweiten Reflexion völlig der Zurückwerfung entzogen wird, wogegen die, so bedeutend andere Polarisationswinkel fordernden, blauen und rothen Strahlen in erheblicher Menge zurückgeworfen werden. Dieses beträgt am meisten bei Substanzen, bei denen die Brechung stark ist, weil da der Polarisationswinkel grofs ist und der einen kleinern Winkel mit der Oberfläche machende Strahl eine gröfsere Menge reflectirten Lichts giebt. Die Erfahrung zeigt auch, wie Brewster bemerkt, dafs bei dem Diamant und andern das Licht stark brechenden Körpern der zweite Spiegel, selbst bei der richtigsten Stellung beider, stets noch viele Lichtstrahlen zurückwirft, wenn das auffallende Licht weifses Licht war.

15. Aufser diesem *einen* Grunde, warum der polarisirte Strahl bei der zweiten Zurückwerfung unter dem richtigen Winkel nicht ganz und gar verschwindet, kommt noch ein zweiter in Betrachtung, dafs nämlich von jeder spiegelnden Oberfläche doch einige als zerstreutes Licht zurückgeworfene Lichtstrahlen ausgehn und dafs diese unpolarisirt bleiben, also auch am zweiten Spiegel sich der Zurückstrahlung nicht entziehn. Aus diesem Grunde erscheinen Körper, die polirt sind, aber doch viel zerstreutes Licht zurückwerfen, unter dem gehörigen Winkel angewandt, zwar als ihres Spiegelglanzes beraubt [2], aber doch als hell in der ihnen eigenthümlichen Farbe, und es ist dieses ein bequemes Mittel, um die Farbe eines Körpers ungemischt und befreit von dem weifsen Lichte zu erhalten, das sich sonst durch blofse Spiegelung beimischt [3].

---

1 Phil. Tr. 1815. 131. 156. Biot Traité T. IV. p. 292. Airy glaubt, dieses sey nicht völlig der Fall. Philos. Magaz. January 1833. p. 29.

2 Geglättetes Papier ungefähr für den Einfallswinkel = 58°.

3 Biot Traité u. s. w. T. IV. p. 339.

Etwas Aehnliches bemerkt man an den Metallen, welche, wenn sie auch als Spiegel polirt sind, doch unter keinem Winkel den Lichtstrahl ganz polarisiren, obgleich bei einer Stellung unter bestimmtem Winkel der zurückgeworfene Strahl sich als am wenigsten zur Zurückwerfung vom zweiten Spiegel geeignet oder als am besten polarisirt zeigt. Dieser Winkel, den man also den Winkel möglichst vollkommener Polarisation nennen kann, ist für Stahl $= 71°$ oder nach Brewster $= 75°$, für Quecksilber $= 76\frac{1}{2}$ Grad, so dafs man für Stahl $\frac{1}{\mu} = 2{,}9$ oder nach Brewster $= 3{,}73$, für Quecksilber $\frac{1}{\mu} = 4{,}17$ oder, was Herschel für noch richtiger hält, $= 5{,}0$ annehmen müfste. Beim Selen fand Marx[1] den Polarisationswinkel $= 67° \; 15'$.

16. Wenn der Lichtstrahl auf beide zurückwerfende Ebenen unter dem Polarisationswinkel auffällt, so läfst sich die Intensität des Lichtstrahls, welcher bei verschiedener Neigung der Reflexions-Ebenen gegen einander nach der zweiten Spiegelung hervorgeht, durch

$$I = A \operatorname{Cos.}^2 \gamma$$

ausdrücken, wenn γ der Winkel ist, den die beiden Reflexions-Ebenen mit einander machen. Diese Formel entspricht erstlich den wichtigsten bisher betrachteten Erscheinungen. Ist nämlich die zweite Reflexions-Ebene mit der ersten einerlei (welches bei unserm Instrumente statt findet, sowohl wenn beide Glas-Ebenen mit einander parallel sind und der zweite Spiegel in der Drehung um die Axe der Röhre auf 0° steht, als auch, wenn dieser einen halben Umlauf gemacht hat und auf 180° steht), so ist $\gamma = 0$ oder $= 180°$ und die Intensität $= A$; dagegen für $\gamma = 90°$ oder $= 270°$, wenn beide Reflexions-Ebenen auf einander senkrecht stehn, ist die Intensität gleich Null, der zurückgeworfene Strahl verschwindet ganz. Was zweitens andere Werthe von γ betrifft, so ist es allerdings schwer, die Intensität durch Versuche ganz genau abzuschätzen, aber die Formel entspricht auch da so gut, dafs wir allen Grund haben, sie für richtig zu halten.

Nennen wir im Allgemeinen einen Strahl *in einer bestimmten Ebene polarisirt,* wenn er unfähig ist, in einer Zurückwer-

---

1 Schweigg. Jahrb. XXXI. 16.

fungs-Ebene, die senkrecht gegen jene Ebene ist, bei einem dem Polarisationswinkel gleichen Einfallswinkel, reflectirt zu werden, so ist jene Regel allgemein, wenn y der Winkel zwischen der Polarisations-Ebene des Strahles und der Zurückwerfungs-Ebene ist, und wir haben nicht mehr nöthig, den polarisirten Strahl gerade als durch eine Zurückwerfung polarisirt anzusehn; sondern jeder in eben der bestimmten Ebene polarisirte Strahl befolgt bei der Zurückwerfung, wenn der Einfallswinkel gleich dem Polarisationswinkel ist, dasselbe Gesetz.

17. Malus und Biot haben gesucht, den Grund, warum der in einer gewissen Ebene polarisirte Strahl in der gegen diese senkrechten Ebene unter dem Polarisationswinkel keine Zurückwerfung leide, durch eine Hypothese über die Gestalt und Lage der Lichttheilchen zu erklären. Sie nehmen nämlich an, die Lichttheilchen haben eine Axe, von deren Lage die Fähigkeit zurückgeworfen zu werden abhängt. Diese Axe hat bei den in einem unpolarisirten Lichtstrahle zu uns kommenden Lichttheilchen mannigfaltig verschiedene Lagen und eben darum zeigt sich der Lichtstrahl als nicht polarisirt. Fällt aber ein solcher Lichtstrahl unter dem Polarisationswinkel auf eine Spiegelfläche, so erlangen die zurückgeworfenen Lichttheilchen eine solche Lage, dafs jene Axe sich in der Zurückwerfungs-Ebene und senkrecht auf die Richtung des Strahls befindet, und nur die Theilchen, die diese Lage erlangen können, sind der Zurückwerfung unter dem Polarisationswinkel fähig. Dieser Strahl ist also ein in der Reflexions-Ebene polarisirter Strahl, und jeder Strahl, in welchem die Axen der Lichttheilchen diese Lage haben, ist in eben der Ebene polarisirt, wenn diese Uebereinstimmung der Axen auch durch andere Umstände hervorgebracht ist. Trifft nun dieser Strahl unter dem Polarisationswinkel auf eine Spiegel-Ebene, und zwar so, dafs die Reflexions-Ebene senkrecht auf die Polarisations-Ebene ist, so wird er nicht zurückgeworfen, weil die Lichttheilchen die (nach der Hypothese) nothwendige Bedingung der Reflexion unter diesem Winkel nicht erfüllen können. Denn da die Axen dieser Theilchen senkrecht gegen die Reflexions-Ebene sind, so können sie durch die abstofsenden Kräfte der Zurückwerfung, welche auf beide Enden der Axe gleich wirken, nicht in die Reflexions-Ebene, also nicht in die der Zurückwerfung entsprechende Lage gebracht werden, und deswegen entziehn sie sich gänzlich der

Zurückwerfung [1]. Wenn die Reflexions-Ebene sich ein wenig von der angegebenen Lage entfernt, so werden einige, aber nur wenige, Theilchen zurückgeworfen. Um dieses zu erklären, nimmt Biot an, dafs zwar im polarisirten Strahle alle Axen der Lichttheilchen, ihrer Hauptlage nach, parallel sind, aber dafs durch Oscillationen um diese Axen die Anwandelungen leichterer Zurückwerfung und leichteren Durchganges entstehn, weshalb denn bei nicht völlig senkrechter Lage der Axe gegen die Reflexions-Ebene diejenigen Lichttheilchen zurückgeworfen werden, die sich in der Phase der leichtesten Zurückwerfung befinden. Es läfst sich wohl nicht leugnen, dafs diese Verbindung mehrerer Voraussetzungen schon hier vieles gegen sich hat, und deshalb hat auch Biot's Hypothese nicht den Beifall behalten, den man ihr anfangs schenkte. Um diese mit grofsem Scharfsinne ausgedachte und zahlreichen Erscheinungen angepafste Theorie richtig zu beurtheilen, mufs man sich erinnern, dafs sie zu einer Zeit aufgestellt wurde, wo die für die *Undulationstheorie* sprechenden Erscheinungen noch nicht so genau bekannt waren und wo — was das Wichtigste ist — es unmöglich schien, nach der Undulationstheorie Erscheinungen zu erklären, die offenbar forderten, dafs man dem Lichtstrahle ungleiche Eigenschaften an seinen verschiedenen Seiten beilege. Aber da die frühere Undulationstheorie das Licht als ganz dem Schalle analog ansah und die Vibrationen als in der Richtung des Strahls geschehend voraussetzte, so mufsten die Polarisations-Erscheinungen fast nothwendig als der Undulationstheorie geradezu widersprechend angesehn werden. Erst als Fresnel in den Interferenz-Erscheinungen polarisirter Strahlen Grund fand, eine völlig neue Undulationstheorie aufzustellen, konnte es gelingen und ist auf ausgezeichnete Weise gelungen, alle Erscheinungen der Polarisation durch diese Theorie zu erklären.

Fresnel fand sich nämlich veranlafst, den Vibrationen des Licht-Aethers eine ganz andere Beschaffenheit beizulegen, als man bis dahin angenommen hatte. Nach seiner Ansicht erfolgen die Vibrationen nicht in der Richtung des Strahls, sondern sie sind Quervibrationen, deren Richtung in allen Fällen senkrecht auf die Richtung des Strahls ist. In dem gewöhn-

1 Biot Traité T. IV. p. 273. 283.

lichen Lichte haben diese Vibrationen in schnellem und regelmäſsigem Wechsel alle möglichen gegen die Richtung des Strahls senkrechten Richtungen, und dann zeichnet sich also keine Seite des Strahls von der andern aus, das Licht ist nicht polarisirt. Aber unter manchen Umständen zerlegen sich jene Vibrationen nach zwei auf einander senkrechten Richtungen, und in einem so veränderten Strahle sind in zahlreichen Fällen *alle* jene Quervibrationen ganz auf *eine* Richtung zurückgeführt, dann ist das Licht vollständig polarisirt. Die Frage, ob im polarisirten Strahle die Vibrationen in der Ebene, welche wir die Polarisations-Ebene nennen, oder senkrecht gegen diese Ebene statt finden, entscheidet sich aus später vorkommenden (nr. 27.) Gründen dahin, daſs die Vibrationen gegen die Richtung der Polarisations-Ebenen senkrecht sind. Diese Vibrationen folgen sich nun in den bestimmten Zwischenräumen, die wir eine Wellenlänge oder Undulationslänge nennen, und wenn zwei polarisirte Strahlen nach gleicher Richtung fortgehn, so können sie theils in Rücksicht auf die Richtung der Vibrationen verschieden seyn, theils in Rücksicht auf das Zusammentreffen der Vibrationen entweder gleich seyn, oder um Theile einer Undulation einander voreilen. Die Frage, was in diesen verschiedenen Fällen aus der Vereinigung zweier Strahlen hervorgeht, muſs bei den verschiedenen Erscheinungen, welche die Polarisation darbietet, erklärt werden.

Die Zerlegung der Vibrationen, wenn sie auf eine andere Ebene zurückgeführt werden, oder wenn aus einer Vibration nach bestimmter Richtung zwei Vibrationen in gegen einander senkrechten Richtungen entstehn, geschieht ganz nach den Gesetzen der Statik. Wenn ein Strahl unter dem Polarisationswinkel auf eine Spiegelfläche fällt und nun in der Reflexions-Ebene polarisirt hervorgeht, so ist die Geschwindigkeit $= 1$ seiner Vibration auf die Geschwindigkeit $= \mathrm{Cos.}\,\gamma$ zurückgeführt, wenn γ der Winkel ist, den die Vibrationen des ankommenden Strahls mit den Vibrationen des zurückgeworfenen machen; war also jener Strahl schon polarisirt in einer unter dem Winkel $= \gamma$ gegen die Zurückwerfungs-Ebene geneigten Ebene, so ist in jedem Augenblicke das Verhältniſs der Vibrationsgeschwindigkeit $= \mathrm{Cos.}\,\gamma$ und die Intensität des Strahls $= \mathrm{Cos.}^2\,\gamma$, so daſs die aus Erfahrung abgeleitete Regel (nr. 16.) hier mit einem theoretischen Grunde in Verbindung erscheint.

18. Wir haben bisher nur von den Zurückwerfungen des Lichts geredet, die unter einem dem Polarisationswinkel gleichen Einfallswinkel statt finden, und obenhin bemerkt, daſs auch bei rechtwinkliger Stellung der Reflexions-Ebenen gegen einander die Zurückwerfung der Strahlen im zweiten Spiegel nicht ganz aufhört, wenn eine der beiden Spiegelflächen nicht unter dem Polarisationswinkel geneigt ist. Wenn der unpolarisirte Lichtstrahl auf die erste Spiegelfläche, von welcher sich allezeit versteht, daſs sie zur Polarisation geeignet sey, unter einem andern als dem Polarisationswinkel auffällt, so entzieht ein Theil des Lichts sich der Zurückwerfung an einer zweiten unter dem Polarisationswinkel ihm entgegengestellten spiegelnden Fläche, wenn die Zurückwerfungs-Ebene senkrecht gegen die erste Zurückwerfungs-Ebene ist; aber ein Theil des Strahls wird von dieser zweiten Fläche völlig so zurückgeworfen, als wenn er aus gewöhnlichem Lichte bestände, er wird nämlich, wenn der zweite Spiegel unter dem Polarisationswinkel geneigt ist, völlig und so polarisirt, als ob er hier seine erste Reflexion erlitte. Dieser von der ersten Fläche zurückgeworfene Strahl wird daher gewöhnlich angesehn, als ob er in diesem Falle aus einem in der Reflexions-Ebene polarisirten und aus einem völlig unveränderten Antheile bestände. Brewster macht aber die sehr richtige Bemerkung, daſs der ganze Strahl eine physische Veränderung müsse erlitten haben, weil er unter andern Umständen als der gewöhnliche Lichtstrahl völlig polarisirt werde.

19. Wird ein Lichtstrahl bei der Zurückwerfung völlig polarisirt, welches bei Brewster's Versuchen mit einer Glasfläche unter dem Polarisationswinkel $= 56^\circ\ 45'$ geschah, so behält er die Polarisation in derselben Ebene, wenn er nun auch mehrere Zurückwerfungen erleidet, wofern nur alle diese Zurückwerfungen in derselben Reflexions-Ebene geschehn. Ward der gewöhnliche Lichtstrahl von demselben Glase unter $62^\circ\ 30'$ oder $50^\circ\ 26'$ Einfallswinkel zurückgeworfen und dann von einer zweiten gleichen Oberfläche unter demselben Winkel und in derselben Reflexions-Ebene zurückgeworfen, so war er völlig polarisirt; der vorhin unpolarisirt gebliebene Antheil muſste also eine solche Modification erlitten haben, daſs er jetzt, unter einem dieser beiden Winkel reflectirt, völlig polarisirt wurde, statt daſs ein ganz unpolarisirter Strahl nur unter dem Winkel

von 56° 45′ zurückgeworfen völlig polarisirt worden wäre. Ebenso fand Brewster, wenn alle Zurückwerfungen in derselben Ebene geschahen, dafs die dreimalige Zurückwerfung unter 65° 33′ oder unter 46° 30′, die viermalige Zurückwerfung unter 67° 33′ oder unter 43° 51′ die völlige Polarisation bewirkte. Es gab in allen Fällen einen Winkel gröfser als der Polarisationswinkel und einen Winkel kleiner als der Polarisationswinkel, bei welchem nach einer gewissen Anzahl von Zurückwerfungen die völlige Polarisirung eintrat[1]. Ich werde auf diesen Gegenstand noch wieder zurückkommen müssen[2].

II. Polarisirung durch gewöhnliche Brechung.

20. Wenn ein gewöhnlicher Lichtstrahl durch eine Glasplatte geht, so bleibt er nur in dem Falle, dafs er die Platte senkrecht trifft, ganz ungeändert; fällt er unter einem schiefen Winkel auf, so ist ein Theil des durchgegangenen Strahls polarisirt. Um diese Polarisirung vollständiger wahrzunehmen, ist es besser, mehrere Glasplatten parallel nahe hinter einander aufzustellen, indem der durchgegangene Strahl sich immer mehr von unpolarisirtem Lichte befreit zeigt, je mehr Platten er durchdringen mufste. Malus, Biot, Seebeck und Brewster haben diese Polarisirung, jeder unabhängig von dem andern, entdeckt[3]. Je stärker der einfallende Strahl gegen das Einfallsloth geneigt ist, desto weniger Glastafeln sind nöthig, um den Strahl völlig zu polarisiren, indefs hängt die Vollkommenheit der Polarisirung auch von der Stärke des Lichts und der Beschaffenheit des das Licht durchlassenden Körpers ab, so dafs Biot zehn Glastafeln als zureichend angiebt, um das Licht der untergehenden Sonne völlig zu polarisiren, welches durch zwei Goldblättchen ebenfalls bewirkt werde. Bei stärkerem Lichte sind mehr Tafeln erforderlich. Brewster's Versuche zeigten, dafs acht Glastafeln für einen unter 78° 52′ einfallenden Lichtstrahl die vollkommene Polarisation bewirkten, dafs dagegen

1 Phil. Tr. 1815. 145.
2 S. nr. 35.
3 Biot Traité T. IV. p. 295. Schweigg. Journ. VII. 273. Phil. Tr. 1814. 219. G. XXXVIII. 241.

unter sonst gleichen Umständen 24 nöthig waren für 61° Einfallswinkel und 47 für 42° Neigung des Strahls gegen das Einfallsloth; seine Versuche führten ihn auf die Regel, dafs die Zahl der Platten der Tangente des Einfallswinkels umgekehrt proportional sey, und er knüpfte hieran weitere, über die Grenzen der Versuche hinausgehende Berechnungen, die man wohl nicht für streng zuverlässig ansehn kann. Man mufs nämlich überlegen, dafs die Versuche nicht eine absolut vollkommene Polarisation nachweisen, sondern nur ergeben können, dafs unter den bei diesen Versuchen statt findenden Umständen, wo die Flamme einer Wachskerze angewandt wurde, die Menge des noch unpolarisirten Lichtes unmerklich war.

21. Bei dem Durchgange durch mehrere parallele Platten ist der Fall am merkwürdigsten, wo der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich ist. Hier zeigt es sich nämlich am besten, dafs der durch eine hinreichende Anzahl paralleler Glastafeln gegangene Strahl vollkommen polarisirt ist, und zwar in einer Ebene polarisirt, die auf die Einfalls- oder Brechungs-Ebene senkrecht ist [1]. Man erkennt dieses daran, dafs der hervorgehende Strahl sich der Zurückwerfung von einer mit den vorigen Glasplatten parallelen Glasplatte völlig entzieht und eben deswegen ganz ungeschwächt durch sie und durch eine ganze Reihe paralleler Glasplatten durchgelassen wird. Es ist nämlich aus dem Vorigen bekannt, dafs die vollkommene Polarisirung sich dadurch zeigt, dafs ein polarisirter Strahl gar nicht zurückgeworfen wird, wenn die Zurückwerfung in einer gegen die Polarisations-Ebene senkrechten Ebene und unter dem Polarisationswinkel geschehn sollte; ist also die Polarisirung senkrecht gegen die Ebene PCA, so erleidet der Strahl DE keine Reflexion nach EF und wird ganz durchgelassen, wenn DE unter dem Polarisationswinkel auffällt. Die Erfahrung zeigt auch, dafs er durch mehrere parallele Tafeln durchgeht und gar nicht durch Zurückwerfung geschwächt wird, sondern allenfalls nur wegen der Trübheit des Glases eine höchst unbedeutende Schwächung erleidet. Fig. 87.

Da bei diesem Durchgange durch parallele Glastafeln, wenn der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich ist, ein Theil des Lichts zurückgeworfen und dabei in der Einfalls-Ebene

---

1 Vergl. nr. 17.

polarisirt wird, dagegen ein Theil des Lichts durchgelassen und dabei in einer gegen die Einfalls-Ebene senkrechten Ebene polarisirt wird, so hat man diese beiden Polarisationen *entgegengesetzte Polarisationen* genannt. Dieser Name soll nur ausdrücken, dafs die eine Art polarisirter Strahlen ganz der Reflexion entzogen wird bei derselben Stellung der zurückwerfenden Ebene, wo von der andern Art polarisirter Strahlen gerade am meisten zurückgeworfen wird, und umgekehrt; wenn aber Arago's Behauptung richtig wäre, dafs in allen Fällen und bei allen Einfallswinkeln der beim Durchgange polarisirte Strahl ebensoviel Intensität besitzt, als der zugleich zurückgeworfene und in einer gegen die Polarisations-Ebene des erstern senkrechten Ebene polarisirte Strahl, so würde dieser Gegensatz noch eine mehrfache Wichtigkeit gewinnen[1].

22. Brewster hat dieser Meinung wichtige Gründe entgegengesetzt. Diese beiden Ansichten, die ich in der Folge genauer untersuchen will, unterscheiden sich dadurch, dafs die übrigen Physiker in dem durchgelassenen Lichtstrahle einen vollständig polarisirten und einen ganz unveränderten Theil, letztern also dem gewöhnlichen Lichte ganz ähnlich, annehmen; Brewster hingegen nimmt eine physische Veränderung des ganzen Strahls an, wodurch er im Durchgange durch eine, zwei und mehr Platten dem Zustande der vollkommenen Polarisation in einer Polarisations-Ebene, die gegen die Einfalls-Ebene senkrecht ist, immer näher kommt und endlich so nahe polarisirt ist, dafs wir keinen Unterschied zwischen ihm und einem vollkommen polarisirten Strahle mehr bemerken können. Indefs sind alle darin einig, dafs nach dem Durchgange durch viele Glasplatten oder ähnliche Platten anderer durchsichtiger Körper die Polarisation in einer gegen die Einfalls-Ebene senkrechten Polarisations-Ebene vollkommen ist.

23. Läfst man einen so im Durchgange durch mehrere Gläser D polarisirten Strahl DE auf eine Verbindung anderer paralleler Gläser FG fallen, so wird, wenn der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich ist, eine Zurückwerfung anfangen, sobald die Reflexions-Ebene nicht mehr mit der Brechungs-Ebene für die ersten Gläser einerlei oder nicht mehr auf die Polarisations-Ebene des Strahls DE senkrecht ist, und

Fig. 88.

1 Vergl. nr. 47.

der Strahl wird am besten zurückgeworfen, wenn FG gegen den Strahl zwar unter dem Polarisationswinkel geneigt bleibt, aber in einer solchen Stellung, dafs die Reflexions-Ebene senkrecht gegen die Brechungs-Ebene ist oder übereinstimmt mit der Ebene, in welcher DE polarisirt war. Wäre in FG eine einzige solche Tafel auf die zuletzt angegebene Weise aufgestellt, so würde nur ein Theil des Strahls zurückgeworfen werden, der übrige Theil aber durchgelassen, ohne seine Polarisirung zu ändern, und beim Antreffen an eine zweite Tafel erlitte ein zweiter Theil die Zurückwerfung; so würde also der durch eine Reihe paralleler Tafeln FG gehende Strahl nach und nach immer mehr geschwächt und daher endlich einem bei O stehenden Auge nicht mehr kenntlich werden. Man kann daher, wenn man eine verbundene Menge paralleler durchsichtiger Tafeln so um den polarisirten Strahl dreht, dafs er immer unter dem Polarisationswinkel auffällt, den seltsam scheinenden Erfolg hervorbringen, dafs diese Tafeln als durchsichtig erscheinen, wenn die Einfalls-Ebene senkrecht gegen die Polarisations-Ebene des Strahls DE ist, und als undurchsichtig, wenn diese beiden zusammenfallen [1].

Da, wie Arago gefunden hat, ein gröfserer Antheil eines polarisirten Strahls als eines unpolarisirten zurückgeworfen wird, wenn die Reflexion unter dem Polarisationswinkel und in der mit der Polarisations-Ebene des schon polarisirten Strahls übereinstimmenden Ebene statt findet, so muss eine noch geringere Anzahl Platten in der zweiten Verbindung FG hinreichen, um den durchgelassenen Strahl unkenntlich zu machen, als in der ersten, um ihn vollständig zu polarisiren.

Brewster hat eben diese Polarisirung hervorgebracht, indem er in einem nur $\frac{1}{4}$ Zoll weitem Glasgefäfse mit parallelen Wänden Stückchen äufserst fein geblasener Glaskugeln, Glimmerblättchen, Stückchen Goldschlägerhaut brachte und das Licht durchgehen liefs.

24. In Beziehung auf Biot's Vorstellung von der Lage der Axen der Lichttheilchen würde man für diese Erscheinungen annehmen müssen, dafs bei dem Auffallen des gewöhnlichen Strahls unter dem Polarisationswinkel erstlich einige Lichttheilchen zurückgeworfen werden, und zwar alle mit ihren Axen in

1 Schweigger's Journ. VII. 278.

der Einfalls-Ebene und senkrecht auf die Richtung des Strahls, zweitens einige Lichttheilchen polarisirt durchgelassen werden, und zwar alle mit ihren Axen senkrecht gegen die Einfalls-Ebene und folglich zugleich auch senkrecht gegen die Richtung des Strahls, drittens einige Lichttheilchen unpolarisirt durchgelassen werden, also mit unregelmäfsig liegenden Axen der Lichttheilchen. Diese Ansicht mufs indefs nach Brewster's Untersuchungen etwas anders aufgefafst werden. Nach Fresnel's Ansicht erhellt leicht, dafs man bei der Zerlegung die Polarisation für den durchgelassenen Strahl erhalten wird.

III. Polarisirung beim Durchgange durch doppelt brechende Körper.

25. Wenn ein gewöhnlicher Lichtstrahl auf einen doppelt brechenden Körper, der nur *eine* Axe doppelter Brechung hat, fällt und dann, wie es in den meisten Fällen geschieht, eine Zerspaltung in zwei Strahlen erleidet, so zeigen sich diese Strahlen beide als polarisirt und zwar sind sie entgegengesetzt polarisirt, nämlich der gewöhnliche Strahl in einer durch die Axe des Krystalls gelegten, der andere in einer gegen diese senkrechten Ebene; das heifst, wenn man von irgend einem Puncte des gewöhnlich gebrochenen Strahls eine Linie mit der Axe des Krystalls parallel zieht[1] und durch diese und den Strahl eine Ebene legt, so ist er in dieser Ebene polarisirt, und wenn man durch einen Punct des ungewöhnlich gebrochenen Strahls ebenso durch ihn und durch die Parallele zur Axe des Krystalls eine Ebene legt, so ist er senkrecht gegen diese Ebene polarisirt. Man überzeugt sich hiervon, wenn man diese Strahlen unter dem Polarisationswinkel auf eine unbelegte Glasplatte fallen läfst, indem da der gewöhnliche Strahl allein zurückgeworfen wird, wenn die Reflexions-Ebene mit der durch den Strahl und die Axe des Krystalls gelegten Ebene zusammenfällt, und der ungewöhnliche allein, wenn die Reflexions-Ebene senkrecht gegen die durch den Strahl und die Axe des Krystalls gelegte Ebene ist. Bedeckt man also die gegen das auffallende Licht gekehrte Seite des Krystalls mit einem undurchsichtigen Körper, welcher nur durch eine kleine Oeffnung einen Lichtstrahl zuläfst, und wird dann der Krystall so ge-

1 Vergl. im Art. *Brechung*. Bd. I. S. 1165.

halten, dafs die beiden hervorgehenden Strahlen $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$ auf das Glas CF unter dem Polarisationswinkel auffallen, so sieht ein Auge bei D nur *einen* zurückgeworfenen Strahl, wenn der Krystall eine der beiden eben angegebenen Lagen hat; dagegen gehn beide Strahlen aus der Spiegelung hervor, wenn die Reflexions-Ebene mit keiner jener beiden Ebenen zusammenstimmt. Man kann diesen Versuch mit einem unzerschnittenen rhomboidischen Doppelspath-Krystalle, wo der senkrecht auffallende Strahl nach dem Durchgange in einen gewöhnlich gebrochenen, in der Ebene des Hauptschnitts polarisirten Strahl und in einen ungewöhnlich gebrochenen, gegen jene Ebene senkrecht polarisirten Strahl gespalten wird, anstellen. Ist hier der Winkel der Reflexions-Ebene mit der Ebene des Hauptschnitts $= \gamma$ und A die Intensität des einen der beiden gleichen Strahlen, so haben die reflectirten Strahlen die Intensitäten $= A\ \text{Cos.}^2\gamma$ für den gewöhnlich gebrochenen und $= A\ \text{Sin.}^2\gamma$ für den ungewöhnlich gebrochenen, so dafs man den letztern immer matter werden sieht, je kleiner γ wird.

Fig. 89.

26. Wenn ein polarisirter Strahl, er sey nun durch Zurückwerfung oder durch Brechung in einfach brechenden oder in doppelt brechenden Substanzen polarisirt, auf einen Doppelspath senkrecht auffällt, so wird er in zwei Fällen nicht in zwei Strahlen zerspalten, erstlich, wenn seine Polarisations-Ebene mit dem Hauptschnitte des Krystalls zusammenfällt, und zweitens, wenn die Polarisations-Ebene auf den Hauptschnitt senkrecht ist. In beiden Fällen behält der Strahl auch nach dem Durchgange durch den Krystall dieselbe Polarisation, wie vorher; beide Fälle unterscheiden sich aber dadurch, dafs im ersten Falle der Strahl gewöhnlich gebrochen (das heifst, bei senkrechtem Einfallen, ungebrochen) durchgeht, wogegen er im zweiten Falle die ungewöhnliche Brechung erleidet. Hat der Hauptschnitt des Krystalls keine dieser beiden Lagen, sondern ist er um einen Winkel $= \gamma$ von der Polarisations-Ebene des Strahls abweichend, so gehn auch aus dem polarisirt auffallenden Strahle zwei Strahlen hervor; diese haben nun beide eine veränderte Polarisation angenommen und ihre Intensitäten werden durch $\text{Cos.}^2\gamma$ und $\text{Sin.}^2\gamma$ ausgedrückt. Man bringe in den aus dem Spiegel I polarisirt hervorgehenden Strahl, der in der Axe der Röhre fortgeht, einen Doppelspath, so dafs der Strahl immer senkrecht auf seine Oberfläche fällt, drehe

Fig. 84.

aber den Doppelspath so, dafs der Hauptschnitt nach und nach andere Lagen erhält, so erblickt ein gerade durch den Doppelspath in den Spiegel I sehendes Auge in den zwei angegebenen Lagen nur *ein* Bild, und wenn man diesen Lagen nahe kommt, so verschwindet je mehr und mehr das ungewöhnliche Bild, wenn die Ebene des Hauptschnitts sich der Reflexions-Ebene nähert, dagegen das gewöhnliche oder durch gewöhnliche Brechung hervorgehende Bild, wenn der Hauptschnitt nahe senkrecht gegen die Reflexions-Ebene ist. Um über die Art der Polarisation des durch den Krystall gegangenen, vorher schon polarisirten Lichts zu urtheilen hat man nur nöthig zu sehn, wann der eine oder der andre aus dem Krystalle hervorgegangene Strahl nicht von dem zweiten Spiegel zurückgeworfen wird. War aus dem ersten Spiegel ein polarisirter Strahl senkrecht auf den Krystall gefallen und der Hauptschnitt des Krystalls weder mit der Reflexions- und Polarisations-Ebene parallel, noch auf sie senkrecht, so gehn zwei Strahlen hervor, und wenn man nun die Reflexions-Ebene des zweiten Spiegels L, der den Strahl unter dem Polarisationswinkel empfangen mufs, mit dem Hauptschnitte parallel stellt, so wird der gewöhnlich gebrochene Theil allein reflectirt, der ungewöhnlich gebrochene Strahl entzieht sich der Zurückwerfung, und das Umgekehrte findet statt, wenn diese Reflexions-Ebene senkrecht auf den Hauptschnitt ist.

Auf ähnliche Weise, wie hier der durch die Zurückwerfung vom ersten Spiegel polarisirte Strahl angewandt wurde, kann jeder in bestimmter Richtung polarisirte Strahl angewandt werden, und es zeigt sich, dafs er seine Polarisation so verändert, wie es der Lage der Axe des doppelt brechenden Krystalls gemäfs ist, dafs nämlich auch hier der im Krystalle gewöhnlich gebrochene Strahl seine Polarisations-Ebene der durch den Strahl und die Axe gelegten Ebene parallel hat, der ungewöhnlich gebrochene senkrecht gegen dieselbe.

27. Fresnel giebt nach seiner Theorie Gründe an, warum die Polarisation beider Strahlen so bestimmt wird. Der Aether im Doppelspath oder jedem ein-axigen Krystalle ist als ein elastisches Medium anzusehn, in welchem die beschleunigende Kraft, durch welche die in Vibration gesetzten Aethertheilchen zu ihrem Gleichgewichtszustande zurückgetrieben werden, rings um die Axe gleich, mit der Axe parallel aber eine an-

dere ist. Die Kraft, welche bei Verschiebung der Theilchen mit der Axe parallel wirksam ist, mufs die stärkere seyn bei den repulsiv oder negativ wirkenden Krystallen, wo nämlich der ungewöhnlich gebrochene Strahl weiter von der Axe entfernt liegt, und die schwächere bei den positiv wirkenden[1]. Die Eigenschaft des gewöhnlich gebrochenen Strahls ist eine von der Richtung gegen die Axe unabhängige Geschwindigkeit der Fortpflanzung und bei ihm müssen daher die Vibrationen auf die Axe senkrecht seyn; da nun seine Polarisations-Ebene in dem bisher angenommenen Sinne durch die Axe des Krystalls geht, so finden wir hier den Grund, die Vibrationen in jedem Falle als zugleich senkrecht auf die Richtung des Strahls und senkrecht auf die Polarisations-Ebene im polarisirten Strahle anzusehn. Im ungewöhnlich gebrochenen Strahle gehn die Vibrationen parallel mit der durch ihn und die Axe gelegten Ebene, nämlich senkrecht gegen die Ebene, die wir für ihn die Polarisations-Ebene nennen. Geht ein Strahl nach der Richtung der Axe selbst durch den Krystall, so stehn die Quervibrationen senkrecht auf der Axe und es findet nun keine ungleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit beider Strahlen statt, weil diese nur da statt finden kann, wo die Verschiebungen der Theilchen im ungewöhnlich gebrochenen Strahle nicht mehr senkrecht gegen die Axe sind; je mehr sie hievon abweichen, je näher sie der Axe parallel werden, desto gröfser wird der Unterschied beider Fortpflanzungsgeschwindigkeiten wegen der ungleichen Einwirkung, mit welcher die in verschiedenen Richtungen ungleichen Elasticitäten des Aethers die Fortpflanzung der beiden verschiedenen Vibrationen bestimmen. Hier erhellt nun auch am leichtesten und ganz den Principien der Statik gemäfs, warum die Geschwindigkeiten der nach zwei gegen einander senkrechten Richtungen zerlegten Vibrationen dem $\text{Cos.}\,\gamma$ und $\text{Sin.}\,\gamma$ und die durch das Mafs der lebendigen Kräfte bestimmten Intensitäten den Quadraten $A\,\text{Cos.}^2\gamma$, $A\,\text{Sin.}^2\gamma$ entsprechend sind, wenn die ursprüngliche Polarisations-Ebene mit der Ebene des Hauptschnitts den Winkel γ macht; $A\,\text{Cos.}^2\gamma$ ist dann die Intensität des gewöhnlich gebrochenen Strahls. War das einfallende Licht unpolarisirtes Licht, so hat, wegen des un-

1 Vergl. Art. *Brechung*. Bd. I. S. 1169. 1185.

aufhörlichen Wechsels der Richtungen der (immer auf die Richtung des Strahls senkrechten) Vibrationen, γ alle mögliche Werthe und es gehn daher gleiche Intensitäten beider Strahlen hervor [1].

28. Wenn ein Lichtstrahl gemischt aus polarisirtem und unpolarisirtem Lichte besteht, so gehn zwar die auf die natürliche Oberfläche des Krystalls senkrecht fallenden Strahlen immer in zwei Strahlen gespalten hervor, aber der gewöhnlich gebrochene ist der hellere, wenn der Hauptschnitt mit der Polarisations-Ebene des polarisirten Lichts zusammentrifft, weil dann kein Theil des letztern in den ungewöhnlich gebrochenen Strahl übergeht, sondern dieser einzig aus der Hälfte des unpolarisirten Lichts besteht, und ebenso ist der ungewöhnlich gebrochene Strahl aus dem gesammten polarisirten und der Hälfte des unpolarisirten Lichts zusammengesetzt, wenn der Hauptschnitt senkrecht gegen die Polarisations-Ebene des polarisirten Theils ist. Diese Ungleichheit der beiden Bilder, die sich bei einer Viertelsdrehung wechselnd zeigt, ist also ein Kennzeichen der theilweisen Polarisation des Strahls.

29. Eine sehr merkwürdige Einwirkung auf den unpolarisirten Strahl zeigen einige doppeltbrechende Krystalle, indem dünne Platten auf bestimmte Weise aus denselben geschnitten nicht jedes polarisirte Licht gleich gut durchlassen. Der Turmalin besitzt vorzüglich diese Eigenschaft. Die Krystallisationsform des Turmalins ist ein Prisma, das aus Theilchen von der primitiven Form des stumpfen Rhomboids zusammengesetzt ist; die Axe dieser Rhomboide läuft mit der Axe des Prisma's parallel. Schneidet man aus diesem Mineral Platten etwa $\frac{1}{2}$ Linie dick mit jener Axe parallel, so sind diese durchsichtig genug, um durch sie, wie durch gefärbtes Glas, die Gegenstände zu erkennen; auch wenn man zwei solche der Axe parallel geschnittene Platten vor das Auge hält und sie dabei so auf einander legt, dafs die Richtung

---

1 In Rücksicht auf die Frage, ob die Vibrationen senkrecht auf die Polarisations-Ebene sind, oder ob sie in dieser Ebene liegen, mufs Neumann's Abh. Theorie der doppelten Strahlenbrechung, abgeleitet aus Gleichungen der Mechanik (Poggend. XXV. 451.), nachgesehn werden. Da für die in diesem Artikel vorkommenden Anwendungen die Frage wohl unentschieden bleiben kann, so sey es mir vergönnt, bei Fresnel's Ausdrücken stehn zu bleiben.

der Axen in beiden Platten parallel bleibt, so ist keine so auffallende Verminderung des durchgelassenen Lichts zu bemerken; aber wenn man die eine Platte auf der andern dreht, so nimmt das durchgelassene Licht desto mehr ab, je näher die Axenrichtung der zweiten Platte senkrecht gegen die der ersten ist, und bei einigen Turmalinen tritt bei der letztern Lage völlige Undurchsichtigkeit ein. Läfst man einen polarisirten Lichtstrahl auf eine dieser Platten fallen, so dringt er ohne erhebliche Schwächung durch, wenn die Richtung der Axe der Platte senkrecht auf die Polarisations-Ebene des Strahls ist, dagegen wird er fast gar nicht durchgelassen, wenn man der Platte die Stellung giebt, dafs die Axe mit der Polarisations-Ebene parallel ist.

Biot[1] hat diese von ihm zuerst entdeckte Eigenschaft des Turmalins so untersucht, dafs er einen Turmalin prismatisch schleifen liefs, so dafs die Axe des Krystalls parallel mit den Kanten des Prisma's lag. Stellte man dann das Prisma so, dafs das Auge einen kleinen Gegenstand durch den dünnsten Theil des Prisma's sah, so erschien er doppelt, das ist, ein gewöhnlich gebrochener und ein ungewöhnlich gebrochener Strahl gelangten zum Auge; sah man aber durch den *dickern* Theil des Prisma's, so ward das eine Bild immer dunkler, während das andere fast ungeschwächt blieb. Der gewöhnlich gebrochene Lichtstrahl dringt nämlich nur durch dünne Turmalinblättchen, und wenn diese dicker sind, so ist der durchgelassene Strahl der ungewöhnlich gebrochene, dessen Polarisations-Ebene senkrecht gegen die in der Ebene der Platte liegende Krystallisations-Axe ist.

Die mit der Axe der Prismenkrystalle parallel geschnittenen Turmalinplatten haben also die Eigenschaft, dafs sie bei etwas gröfserer Dicke nur die senkrecht gegen die Axe polarisirten Strahlen durchlassen, und daher ist es zu erklären, dafs der schon polarisirte Strahl nur dann durchgelassen wird, wenn er in einer gegen die Axe des Turmalins senkrechten Ebene polarisirt ist.

30. Eben diese Eigenschaft entdeckte Brewster[2] schon

1 Biot Traité T. IV. p. 311.

2 Treatise on new philos. Instruments p. 330. und Philos. Transact. 1813. 101. 1814. 188.

früher am Achat, wenn die Achatplatte senkrecht auf seine natürlichen Schichten geschnitten ist, wo aber der Strahl natürlichen Lichts so polarisirt wird, dafs die Polarisations-Ebene parallel mit den Schichten ist. Auch diese Platten halten den entgegengesetzt polarisirten Strahl vollkommen auf. Einige Saphire besitzen gleichfalls eine ähnliche Eigenschaft, indem der Axe parallel geschnittene Platten, wenn man einen polarisirten Strahl durch sie zum Auge gelangen läfst, diesen sehr verdunkelt mit tief blauer Färbung in der einen und hell mit einer sehr geringen gelblichen Färbung in der gegen die vorige senkrechten Stellung der Axe zeigen [1].

Diese Eigenschaft, das polarisirte Licht zu absorbiren, mufste hier erwähnt werden, weil diese Körper uns ein Mittel darbieten, um polarisirte Lichtstrahlen von unpolarisirten zu unterscheiden, indem eine der Axe des Krystalls parallel geschnittene Turmalinplatte den *unpolarisirten*, senkrecht auffallenden Lichtstrahl in allen Stellungen gleichmäfsig durchläfst, statt dafs der *polarisirte* Strahl bei den angegebenen Stellungen nicht oder wenigstens sehr geschwächt durchgelassen wird, weshalb der das polarisirte Licht aussendende Körper in diesem Falle dunkel erscheint. Enthält der Lichtstrahl zugleich einiges nach bestimmter Richtung polarisirtes Licht und einiges unpolarisirtes, so ist wenigstens eine merkliche Schwächung des Lichts bei bestimmten Stellungen des Krystalls sichtbar.

31. Diese Untersuchungen betrafen insgesammt das durch krystallisirte Körper durchgehende Licht; man kann aber mit Recht die Frage aufwerfen, ob die Kraft, von welcher die doppelte Brechung abhängt, vielleicht auch auf die bei der Zurückwerfung eintretende Polarisation Einflufs habe.

Dafs auch die doppelt brechenden Krystalle dem von ihrer äufsern Oberfläche reflectirten Lichte eine Polarisation ertheilen und dafs es einen bestimmten Polarisationswinkel giebt, bei welchem die Polarisation am vollkommensten ist, läfst sich schon vermuthen, auch hat bereits Malus die Frage aufgeworfen, ob dieser Polarisationswinkel, beim Doppelspath zum Beispiel, derselbe sey, wenn die Reflexions-Ebene mit der

---

1 Brewster erwähnt einen solchen die Farben wechselnden Saphir. Phil. Tr. 1819. 16.

Ebene des Hauptschnitts zusammenfällt und wenn sie senkrecht gegen ihn ist. Malus fand keinen Unterschied [1], aber Brewster hat die Untersuchung weiter fortgeführt [2]. Er bediente sich eines Doppelspaths, für den bei der Zurückwerfung von seiner natürlichen Oberfläche der Polarisationswinkel 57° 14′ war, wenn die Zurückwerfungs-Ebene mit der kurzen Diagonale zusammenfiel, und 59° 32′, wenn sie gegen diese Diagonale senkrecht war. Dieser Unterschied, der sich auch bei andern Doppelspathkrystallen nicht viel erheblicher zeigte, schien also nicht sehr in Betrachtung zu kommen.

32. Seebeck hat diese Bestimmung der Polarisationswinkel mit großer Sorgfalt und in noch mehr verschiedenen Fällen wiederholt [3]. Schon Brewster hatte bemerkt, daſs der Polarisationswinkel von der Neigung der spiegelnden Oberfläche gegen die Axe doppelter Brechung abhänge, also ein anderer sey, wenn diese Neigung, die $=90° - \lambda$ seyn möge, für künstlich geschnittene Oberflächen verschiedene Werthe erhält; er giebt aber dennoch in seiner Formel nur die Abhängigkeit von dem Winkel $=\eta$, den die Zurückwerfungs-Ebene mit dem Hauptschnitte des Krystalls macht, an, und Seebeck sucht nun die Abhängigkeit von beiden Gröſsen zu bestimmen. Hier ergiebt sich zuerst, daſs für eine durch die Axe selbst gelegte spiegelnde Oberfläche und eine alsdann senkrecht gegen die Axe gerichtete Reflexions-Ebene ($\lambda = 90°$, $\eta = 90°$) die Kraft der doppelten Brechung ohne Einfluſs ist, und daſs das Brewster'sche Gesetz für einfach brechende Körper, nämlich die Tangente des Polarisationswinkels gleich dem Brechungs-Index $=\mu$, auch hier gilt, wenn man den Brechungs-Index für den gewöhnlich gebrochenen Strahl nimmt. Dieser Polarisationswinkel $=$ b ist also durch Tang. b $=\mu$ bestimmt. Bezeichnet man aber mit a den Polarisationswinkel für $\lambda = 90°$ und $\eta = 0$, mit c den Polarisationswinkel für $\lambda = 0$, für eine gegen die Axe senkrechte Oberfläche des Krystalls, so hält Seebeck die Formeln Sin. a $= \mu$ Cos. c und Sin. c $=$ m Cos. a, wo m der Brechungs-Index für die ungewöhnlich gebrochenen Strahlen ist, also

1 Théorie de la double refr. p. 211.
2 Phil. Transact. for 1819. 150.
3 Poggend. XXI. 290.

$\text{Tang. } a = \mu \sqrt{\frac{m^2-1}{\mu^2-1}}$ und $\text{Tg. } c = m \sqrt{\frac{\mu^2-1}{m^2-1}}$, für die den Versuchen am besten entsprechenden. Bei jedem constanten Werthe von λ erreicht der Polarisationswinkel sein Minimum für $\eta = 0$ und wächst bis $\eta = 90°$; für jeden constanten Werth von η ist der Polarisationswinkel am kleinsten für $\lambda = 90°$ und wächst bis $\lambda = 0°$. Nennt man nun bei irgend einem constanten Werthe von λ den Polarisationswinkel $= \alpha$, wenn $\eta = 0$ ist, und $= \beta$, wenn $\eta = 90°$ ist, so ist für denselben Werth von λ allgemein der Polarisationswinkel $= \varphi$ durch $\text{Cotang. } \varphi = \text{Cos.}^2 \eta . \text{ Cotang. } \alpha + \text{Sin.}^2 \eta . \text{ Cotang. } \beta$ bestimmt, und ferner $\text{Cotang. } \alpha = \text{Sin.}^2 \lambda . \text{ Cotang. a} + \text{Cos.}^2 \lambda . \text{ Cotang. c}$;

$$\text{Cotang. } \beta = \text{Sin.}^2 \lambda . \text{ Cotang. b} + \text{Cos.}^2 \lambda . \text{ Cotang. c.}$$

Diese Formeln wichen von Seebeck's Versuchen nur einmal um $\frac{1}{4}$ Gr. ab, und da die verschiedenen Mittel, die zur Politur der künstlichen Oberflächen angewandt wurden, Ungleichheiten zur Folge hatten, so darf man eine gröfsere Uebereinstimmung wohl nicht erwarten[1].

33. Brewster hat an die Bemerkung, dafs der Polarisationswinkel die eben betrachteten Aenderungen erleide, eine neue Untersuchung geknüpft, die ihm vorzüglich wichtig schien, um zu entdecken, ob die auf die ungewöhnliche Brechung wirkenden Kräfte auch die Richtung der Polarisation oder die Lagen der Polarisations-Ebene verändern. Beim Auffallen des Strahls in der Luft auf den Kalkspath war eine solche Aenderung nicht merklich[2]; er überlegte aber, dafs man die die Zurückwerfung bewirkende Kraft sehr schwächen könne, wenn man den Strahl aus einer Flüssigkeit, die fast ebenso stark brechend als der Kalkspath wirkt, auf seine Oberfläche auffallen lasse, und dafs da die Einwirkung jener von der Axe

---

1 Brewster hat für φ die Formel $\varphi = \alpha + (\beta - \alpha) . \text{ Sin.}^2 \eta$, die nach Seebeck sich nicht sehr weit von den Versuchen entfernt; es kann daher auffallend scheinen, dafs nach Seebeck's Angabe die Cotangenten statt der Winkel gesetzt werden können, und wirklich kann eine solche Unsicherheit auch nur bei so geringen Unterschieden der äufsersten Werthe statt finden. Sind z. B. $\beta = 58° 55'$, $\alpha = 54° 3'$, so ist für $\eta = 45°$ nach Brewster $\varphi = 56° 29'$, nach Seebeck's Cotangentenformel $\varphi = 56° 25'$.

2 Seebeck hat auch da Aenderungen, wiewohl von geringer Gröfse, bemerkt. Poggend. XXI. 292.

des Krystalls ausgehenden Kraft deutlichere Erfolge zeigen möge. BREWSTER bedeckte daher die Oberfläche des Kalkspaths mit Cassia-Oel, und indem diese flüssige Schicht durch eine etwas geneigt aufgelegte Glastafel zu einer prismatischen Form gebracht wurde, liefs es sich leicht bewirken, dafs der von der Oberfläche des Kalkspaths reflectirte Strahl getrennt von dem an der Oberfläche des Oeles reflectirten Strahle hervorging.

Der Polarisationswinkel für den aus Cassia-Oel auf die natürliche Oberfläche des Kalkspaths fallenden Strahl war $45\frac{1}{2}°$, es mufste also die brechende und zurückwerfende Kraft sehr gering seyn; die Polarisations-Ebene des zurückgeworfenen Strahls fand sich aber nun ganz verschieden für ungleiche Lagen der Reflexions-Ebene gegen die Ebene, welche durch die um 45° 23',5 gegen die spiegelnde Ebene geneigte Axe ging. Nenne ich auch hier η den Winkel, den die Zurückwerfungs-Ebene mit dem Hauptschnitte des Krystalls macht, so fiel für $\eta = 0$ die Polarisations-Ebene, wie bei unkrystallisirten Körpern, mit der Reflexions-Ebene zusammen. Für $\eta = 12°$, wenn dabei die stumpfe körperliche Ecke des Krystalls am meisten entfernt vom Auge war, fand sich die *Polarisations*-Ebene um 45° geneigt gegen die Reflexions-Ebene. Für $\eta = 42°$ stand die Polarisations-Ebene senkrecht auf der Reflexions-Ebene. Für $\eta = 90°$ war eben diese Neigung $-45°$ oder $+135°$; für $\eta = 180°$ oder bei der dem Auge zunächst gestellten Lage der stumpfen Ecke war sie $= 0$ oder $= 180°$; für $\eta = 135°$ ungefähr war jene Neigung $= -10°$ oder $+170°$. Die starke Aenderung der Polarisation, während η von 0° bis 42° fortgeht, zeigt deutlich, dafs diese Aenderung von dem Winkel abhängt, welchen der einfallende Strahl mit der Axe der doppelten Brechung macht.

Hatte man Wasser statt des Cassia-Oels genommen, so war das Licht vollkommen polarisirt, wenn die Reflexions-Ebene mit der kurzen Diagonale der natürlichen Oberfläche zusammenfiel, und wurde dagegen nicht vollkommen polarisirt, wenn die Zurückwerfungs-Ebene mit der langen Diagonale zusammenfiel. Andere Fluida brachten noch andere Verschiedenheiten hervor.

Als eine künstliche, senkrecht gegen die Axe geschnittene, Oberfläche angewandt und mit Cassia-Oel bedeckt wurde, fand

sich bei allen Lagen der Reflexions-Ebene die Aenderung der Polarisation $=75°$. Alle Fälle aber schienen sich durch die Formel Sin. $\frac{1}{2}$ C $=\sqrt{}$ Sin. φ darstellen zu lassen, wenn C die Aenderung der Polarisation und φ den Winkel des einfallenden Strahls mit der Axe darstellt. Diese Formel stimmt wenigstens in dem Falle, wo die Axe 45° 23',5 gegen die spiegelnde Fläche geneigt war, mit den Erfahrungen überein; denn da der Polarisationswinkel 45°,5 betrug, so war $\varphi = C = 0$ für $\eta = 0$, dagegen $\varphi = 29° \, 34'$, also $C = 89° \, 8'$ für $\eta = 42°$, und ferner für $\eta = 90°$ war C ungefähr $= 138°$.

34. Brewster zieht hieraus den Schlufs, die Kraft, welche die Polarisation hervorbringt, erstrecke sich weiter als die Kraft, welche die Zurückwerfung bewirkt; denn die Zurückwerfung unter dem Polarisationswinkel bringe gewifs die Polarisation der Zurückwerfungs-Ebene entsprechend hervor, die Abweichung der Polarisation von dieser Ebene sey also als eine spätere Wirkung anzusehn.

Brewster giebt noch einen zweiten Beweis, dafs die Kraft der doppelten Brechung sich über die Oberfläche selbst hinaus erstrecke, der aber weniger hieher gehört.

IV. Vollständigere Untersuchungen über die durch Zurückwerfung und durch Brechung polarisirten Strahlen.

35. Mehrere diesen Gegenstand betreffende Fragen konnten vorhin nicht vollständig beantwortet werden, weil die Hülfsmittel dazu noch nicht angegeben waren. Ich komme daher zuerst auf die Frage zurück, wie ein nicht unter dem Polarisationswinkel zurückgeworfener Strahl sich von gewöhnlichem Lichte unterscheidet. Es ist schon erwähnt worden, dafs ein von dem ersten Spiegel unseres Instruments unter einem andern Winkel als dem Polarisationswinkel zurückgeworfener Strahl in allen Lagen des zweiten Spiegels zum Theil zurückgeworfen wird, und man hat dieses meistens so erklärt, dafs der reflectirte Strahl zwar einiges in der Ebene der Zurückwerfung polarisirtes Licht, aber zugleich auch gänzlich unpolarisirtes Licht enthalte, und dafs das letztere selbst da reflectirt werde, wo jenes sich der Zurückwerfung ent-

zieht[1]. Diese Ansicht, die selbst Herschel beibehält, scheint mir aber unrichtig, und vorzüglich Brewster hat hierauf aufmerksam gemacht. Dafs Herschel diese Ansicht so wenig berücksichtigt hat, ist um so auffallender, da er Fresnel's Formeln für die Intensität der reflectirten Strahlen anwendet und diese in so näher Beziehung stehn mit Formeln und selbst mit Versuchen, welche die Aenderung der Polarisations-Ebene betreffen[2].

36. Schon sehr früh hatte Brewster gezeigt[3], dafs ein von einer Glasplatte unter dem Winkel 62° 30′ oder auch unter dem Winkel 50° 26′ reflectirter Strahl bei einer zweiten Zurückwerfung unter eben diesen Winkeln vollständig polarisirt werde, und hieraus schlofs er, dafs gewifs nicht ein Theil bei der ersten Reflexion seine Natur ganz ungeändert behalten habe, indem dieser Theil sonst nur bei dem eigentlichen Polarisationswinkel = 56°. 45′ vollkommen hätte polarisirt werden können. Diesem Schlusse liefs sich indefs das entgegensetzen, dafs wir über *vollkommene* Polarisation nur sofern urtheilen können, als sich bei den früher erwähnten Proben kein merklicher Ueberrest unpolarisirten Lichts zeigt; wäre aber ein solcher Ueberrest dennoch, obgleich in nicht mehr merklichem *Masse*, vorhanden, so würde der Schlufs seine Kraft verlieren. Nähme man z. B. an, ein Hundertel des Lichts könne, wenn es auch unpolarisirt bleibt, unserer Beobachtung entgehn, so könnten wohl bei dem Einfallswinkel = 50° 26′ neun Zehntel polarisirt seyn, ein Zehntel ganz ungeändert bleiben, und eben diesem Gesetze gemäfs würde sich bei der zweiten Reflexion, die unter demselben Winkel geschieht, neun Hundertel jenen neun Zehnteln beifügen, ein Hundertel aber ungeändert bleiben; der Strahl würde uns also für völlig polarisirt gelten, obgleich er noch ein Hundertel unpolarisirtes Licht enthielte. Eben das könnte bei andern Winkeln, die eine mehrmalige Zurückwerfung fordern, damit der Strahl ganz polarisirt erscheine, noch eher statt finden. Aber wenn gleich dieser Schlufs nicht streng genug war, so hatte Brewster dennoch Recht, wie auch Fresnel es gefunden hat.

---

1 Herschel §. 847.
2 Ann. de Ch. et Th. XVII. 179. 312. Poggend. XXII. 87.
3 *Phil. Tr.* 1815. 142.

37. Da ich im Folgenden immer genöthigt seyn werde auf Fresnel's Formeln zurückzukommen, so ist es wohl am angemessensten, daſs ich ihre Entstehung hier zuerst zeige[1].

Die beiden Hauptfälle, wo der auf die Trennungs-Ebene zweier Medien treffende Strahl entweder in der Einfalls-Ebene polarisirt ist, oder senkrecht gegen dieselbe, müssen jeder besonders betrachtet werden. Fällt die ursprüngliche Polarisations-Ebene mit der Einfalls-Ebene zusammen, so sind die Lichtvibrationen Verschiebungen, die mit der brechenden und reflectirenden Ebene parallel sind, und auch nach dem Eindringen in das neue Medium findet im gebrochenen Strahle und ebenso nach der Zurückwerfung im reflectirten Strahle dasselbe statt. Man kann annehmen, daſs die Amplituden der Oscillationen und ihre Geschwindigkeiten in jedem Elemente der zurückgeworfenen und gebrochenen Welle ebenso groſs bleiben, als in der einfallenden; aber Volumen und Masse der in Vibration gesetzten Theile sind nicht gleich. Es stelle AB eine ebene Welle vor der Brechung, ab nach der Brechung vor, so ist, wenn i den Einfallswinkel bedeutet, $AB = Ab.\mathrm{Cos}.\,i$ und $ab = Ab.\mathrm{Cos}.\,i'$, wenn i' der Brechungswinkel ist. Bekanntlich sind auch die Längen der Undulationen $Bb = Ab.\ \mathrm{Sin}.\,i$, $Aa = Ab.\ \mathrm{Sin}.\,i'$, also verhalten sich die Volumina vor und nach der Brechung, wie $\mathrm{Sin}.\,i.\ \mathrm{Cos}.\,i.$ zu $\mathrm{Sin}.\,i'.\ \mathrm{Cos}.\,i'$. Um die Massen zu bestimmen, legen wir dem Aether innerhalb und auſserhalb des brechenden Körpers gleiche Elasticitäten und ungleiche Dichtigkeiten bei, die also aus bekannten Gründen den Quadraten der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten umgekehrt proportional oder wie $\frac{1}{\mathrm{Sin}.^2 i}$ zu $\frac{1}{\mathrm{Sin}.^2 i'}$ sind, und es sind die in Erschütterung gesetzten Massen wie Cotang. i zu Cotang. i'. Eben dieses Verhältniſs gilt für die Masse in der zurückgeworfenen Welle in Vergleichung zu der gebrochen fortgepflanzten, da die zurückgeworfene mit der einfallenden übereinstimmend ist.

Fig. 90.

Bei dem Antreffen der einfallenden Welle sey eines Theilchens Vibrationsgeschwindigkeit $= 1$ und die entsprechende Geschwindigkeit in der reflectirten Welle $= u$, in der refran-

1 Ann. de Ch. et Ph. XVII. 194. 312. XXIX. 181. XLVI. 225. und Poggend. XXII. 80. 90.

girten $=v$, alsdann mufs nach dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte

$1.\ \text{Cotang.}\, i = u^2.\ \text{Cotang.}\, i + v^2.\ \text{Cotang.}\, i'$ seyn.

Um hier nun u und v zu bestimmen, wird die Hülfshypothese angenommen, dafs die Bewegungen, welche parallel der brechenden Fläche geschehn, auf beiden Seiten derselben gleich sind. Bei Strahlen, deren ganze Vibrationen der brechenden Fläche parallel liegen, sind 1, u, v selbst diese Geschwindigkeiten der Verschiebung, also $1 + u = v$; dieses in die obige Formel gesetzt wird

$$\frac{1-u}{1+u}\,\text{Cotang.}\, i = \text{Cotang.}\, i',$$

$$\text{woraus } u = -\frac{\text{Sin.}\,(i - i')}{\text{Sin.}\,(i + i')} \text{ folgt.}$$

In dem zweiten Hauptfalle gilt das, was so eben von den ganzen Verschiebungen galt, nach der Hülfshypothese von ihren mit der Brechungs-Ebene parallelen Componenten, und da hier die Verschiebungen in der Einfalls-, Reflexions- und Refractions-Ebene selbst liegen, und zwar senkrecht auf den Strahl, so sind die mit der brechenden Ebene parallelen Componenten $= 1.\ \text{Cos.}\, i$, $= u.\ \text{Cos.}\, i$, $= v\,\text{Cos.}\, i'$.

Die Hülfshypothese giebt

$$(1 + u)\,\text{Cos.}\, i = v.\ \text{Cos.}\, i'$$

und in Verbindung mit jener aus der Erhaltung der lebendigen Kräfte hergeleiteten Gleichung ist

$$(1 - u^2)\,\text{Cotang.}\, i = v'^2\ \text{Cotang.}\, i' = \frac{(1 + u^2)\ \text{Cos.}^2\, i}{\text{Sin.}\, i'.\ \text{Cos.}\, i'},$$

$$\text{also } \frac{1-u}{1+u} = \frac{\text{Sin.}\, 2i}{\text{Sin.}\, 2i'},$$

$$u = -\left\{\frac{\text{Sin.}\, 2i - \text{Sin.}\, 2i'}{\text{Sin.}\, 2i + \text{Sin.}\, 2i'}\right\}.$$

Dieser Werth der Geschwindigkeit der Quervibrationen im reflectirten Strahle wird $=0$, wenn $2i = 180° - 2i'$ oder $i = 90° - i'$ ist, und wir finden also hier das Gesetz von Brewster wieder, dafs der in einer gegen die Reflexions-Ebene senkrechten Ebene polarisirte Strahl gar nicht zurückgeworfen wird, wenn der Strahl unter dem Polarisationswinkel auffällt. (S. nr. 12.)

Wenn i und i' sehr klein sind, so ist $i = \frac{1}{\mu}.i'$, wenn μ das

Brechungsverhältniſs bei dem Uebergange in den zweiten Körper ist, und man hat dann für beide Hauptfälle $u = \frac{i - i'}{i + i'} = \frac{1 - \mu}{1 + \mu}$, als geltend für den senkrecht reflectirten Strahl, dessen Intensität also durch $\left(\frac{1 - \mu}{1 + \mu}\right)^2$ ausgedrückt wird, wie es Young und Poisson aus ganz anders geordneten Schlüssen hergeleitet haben [1].

An diese Betrachtung der beiden Hauptfälle der ursprünglichen Polarisation lassen sich die Bestimmungen für andere Fälle leicht anschlieſsen. Es sey der Winkel der Polarisations-Ebene mit der Einfalls-Ebene $= \alpha$, so machen die Vibrationen der einfallenden Strahlen einen Winkel $= 90° - \alpha$ mit der Einfalls-Ebene; man kann daher die Vibrationen zerlegen nach der Richtung der Einfalls-Ebene und senkrecht auf sie. Jene erste Componente ist dem Sin. α, die letzte dem Cos. α proportional. War nun im reflectirten Strahle, der seine Vibrationen in der Reflexions-Ebene machte,

$$u = - \frac{\text{Sin.}\,2i - \text{Sin.}\,2i'}{\text{Sin.}\,2i + \text{Sin.}\,2i'},$$

so wird dieser Werth hier

$$= - \left\{\frac{\text{Sin.}\,2i - \text{Sin.}\,2i'}{\text{Sin.}\,2i + \text{Sin.}\,2i'}\right\} \text{Sin}\ \alpha$$

$$= - \text{Sin.}\,\alpha.\ \frac{\text{Tang.}\,(i - i')}{\text{Tang.}\,(i + i')},$$

und für Vibrationen senkrecht auf die Reflexions-Ebene geht $u = - \frac{\text{Sin.}\,(i - i')}{\text{Sin.}\,(i + i')}$ in $- \text{Cos.}\,\alpha.\ \frac{\text{Sin.}\,(i - i')}{\text{Sin.}\,(i + i')}$ über. Da u in beiden Fällen die wahre Geschwindigkeit der in Vibration gesetzten Theile bedeutet, so ist das Quadrat der Geschwindigkeit, die aus der Zusammensetzung beider entsteht,

$$= \frac{\text{Sin.}^2\,\alpha.\ \text{Tang.}^2\,(i - i')}{\text{Tang.}^2\,(i + i')} + \text{Cos.}^2\,\alpha.\ \frac{\text{Sin.}^2\,(i - i')}{\text{Sin.}^2\,(i + i')},$$

und dieses ist der Ausdruck für die Intensität des reflectirten Lichts.

38. Diese Betrachtungen führen auch auf die Aenderung der Polarisations-Ebene für den reflectirten Strahl. Wir fan-

---

1 Vergl. Art. *Licht* S. 362. 365.

den nämlich für einen Strahl, dessen Polarisations-Ebene unter dem Winkel α gegen die Reflexions-Ebene geneigt war, daſs man die Geschwindigkeiten der in den Oscillationen verschobenen Theilchen durch $= - \text{Sin.}\,\alpha.\,\frac{\text{Tang.}\,(i-i')}{\text{Tang.}\,(i+i')}$ in der Reflexions-Ebene und durch

$$= - \text{Cos.}\,\alpha.\,\frac{\text{Sin.}\,(i-i')}{\text{Sin.}\,(i+i')} \quad \text{senkrecht}$$

gegen dieselbe ausdrücken kann. Diese beiden Componenten behalten gleiche Werthe für den ganzen Fortgang des Strahls und sind anzusehn als aus Zerlegung einer Oscillation entstanden, die unter einem Winkel $= \alpha'$ gegen die Reflexions-Ebene geneigt ist, dessen Tangente der Quotient jener beiden Werthe ist, also

$$\text{Tang.}\,\alpha' = \text{Tang.}\,\alpha.\,\frac{\text{Cos.}\,(i+i')}{\text{Cos.}\,(i-i')},$$ und hier ist α' der Winkel, den die neue Polarisations-Ebene mit der Einfalls-Ebene macht. Die Polarisations-Ebene hat also eine Drehung $= \alpha - \alpha'$ erlitten und der Strahl ist in dieser neuen Ebene ganz so vollkommen polarisirt, als er es vorhin in jener Ebene war.

39. Fresnel führt einige Versuche an, welche diese Aenderung der Polarisations-Ebene zeigen [1]; da indeſs Brewster's Versuche vollständiger sind, so will ich nur diese hier betrachten [2]. Brewster beschreibt die Versuche nicht genau, ich werde sie hier so darstellen, wie er sie ohne Zweifel angestellt hat und wie ich sie den wesentlichsten Umständen nach wiederholt und bestätigt gefunden habe. Alle Zahlen, die ich anführe, sind aus Brewster's Arbeit entlehnt.

Es werde vor dem ersten Spiegel J des Polarisations-Instruments ein Doppelspathkrystall so aufgestellt, daſs ein natürlicher Lichtstrahl senkrecht auf seine Oberfläche falle, und zugleich habe der Krystall die Lage, daſs sein Hauptschnitt um 45° geneigt sey gegen die Einfalls- oder Reflexions-Ebene des ersten Spiegels J. Es ist bekannt, daſs der Lichtstrahl, welcher unpolarisirt auf den Krystall auffällt, in zwei polarisirte Strahlen gespalten hervorgeht, daſs er also auch vom Spiegel J in zwei Strahlen gespalten zurückgeworfen wird, daher denn ein

Fig. 84.

1 Poggend. XXII. 87.
2 Phil. Tr. 1830. 69. und Poggend. XIX. 259.

Auge in O, wenn der zweite Spiegel weggenommen ist, den Gegenstand, von welchem jener Strahl ausging, in J doppelt gespiegelt sieht. Nach der angenommenen Stellung des Doppelspaths waren jene zwei auf J auffallende Strahlen in Ebenen polarisirt, welche um + 45° und — 45° gegen die Reflexions-Ebene geneigt sind, indem der gewöhnlich gebrochene Strahl in der Ebene des Hauptschnitts, der ungewöhnlich gebrochene Strahl senkrecht gegen dieselbe polarisirt ist. In der angegebnen Stellung bleibt der Doppelspath bei allen zunächst zu beschreibenden Versuchen, aber dem Spiegel J giebt man nach und nach verschiedene Neigungswinkel gegen den einfallenden Strahl; der zweite Spiegel NO bleibt dagegen auf den Polarisationswinkel, der bei BREWSTER's Versuchen 56° betrug, gestellt.

Wir wollen nun zuerst auch den Spiegel J auf den Polarisationswinkel gestellt annehmen, so nämlich, dafs die unter diesem Winkel einfallenden Strahlen nach der Zurückwerfung die Axe GE des Instruments durchlaufen. In diesem Falle sieht man im zweiten Spiegel, wenn seine Reflexions-Ebene mit der des ersten Spiegels zusammenfällt, beide Bilder gleich, oder beide aus dem Krystalle hervorgegangene und am ersten Spiegel reflectirte Strahlen werden gleich gut am zweiten zurückgeworfen, und diese Gleichheit bleibt, obgleich beide Bilder zugleich an Glanz abnehmen, auch wenn man den zweiten Spiegel um die Axe des Instruments dreht, bis bei der Stellung auf 90° (wo beide Reflexions-Ebenen auf einander senkrecht sind) beide Bilder verschwinden. Hier also sind beide Strahlen bei ihrer Zurückwerfung vom ersten Spiegel so polarisirt, dafs ihre Polarisations-Ebene mit der ersten Reflexions-Ebene zusammenfällt. Die Neigung der beiden Polarisations-Ebenen gegen die erste Zurückwerfungs-Ebene ist von + 45° und — 45° auf 0° zurückgeführt. Zu einem zweiten Versuche stelle man den ersten Spiegel, während sonst alles ungeändert bleibt, auf 70° Einfallswinkel oder 20° gegen die Axe des Instruments geneigt und lasse die zwei Strahlen so auffallen, dafs sie auch jetzt nach der Zurückwerfung die Axe des Instruments durchlaufen, so erscheinen im zweiten Spiegel beide Bilder lebhaft und gleich, wenn seine Reflexions-Ebene mit der ersten Reflexions-Ebene zusammenfällt; dreht man aber den zweiten Spiegel um die Axe des Instruments, so verschwindet das eine Bild, wenn die Drehung bis 69° fortgerückt ist, und dann ist

das zweite Bild noch lebhaft; hat man den Spiegel bis 90° fortgerückt, so erscheinen beide Bilder gleich hell, aber von schwachem Lichte, und das zweite Bild verschwindet, wenn die Drehung bis 111° fortgesetzt ist, wo das erste schon wieder lebhaft kenntlich wird. Jenes erste Bild gehörte also einem Strahle, der bei seinem Hervorgehn aus dem ersten Spiegel so polarisirt war, daſs seine Polarisations-Ebene mit der ersten Reflexions-Ebene einen Winkel = 69° — 90° = — 21° machte; für das zweite Bild ist derselbe Winkel 111° — 90° = + 21°; es haben also die beiden Strahlen, deren Polarisations-Ebenen sich vor der ersten Zurückwerfung um + 45° und — 45° geneigt gegen jene Ebene fanden, sich so verändert, daſs ihre Polarisations-Ebenen nun auf + 21° und — 21° Neigung liegen.

Man kann diese Aenderung der Polarisations-Ebene noch auf eine zweite Art bestätigen. Wenn der Doppelspath vor dem ersten Spiegel ebenso wie vorhin aufgestellt bleibt und beide Strahlen unter 70° Einfallswinkel auf den ersten Spiegel fallen, so nehme man den zweiten Spiegel weg und stelle in der Axe des Instruments einen zweiten Doppelspath auf, um durch ihn die zwei vom ersten Spiegel reflectirten Bilder zu betrachten. Da die Polarisations-Ebenen der beiden einfallenden Strahlen unter + 45° und — 45° gegen die Reflexions-Ebene geneigt waren, so müſsten, wofern jene Polarisation ungeändert geblieben wäre, die vier Bilder, die man durch den zweiten Doppelspath sieht, nur zwei darstellen, wenn der Hauptschnitt des letztern einen Winkel von 45° mit der Reflexions-Ebene macht; dieſs geschieht aber nicht, sondern bei einer Neigung des Hauptschnitts von etwa 20° oder nach Brewster von 21° verschwindet das eine Doppelbild des einen Strahls, bei einer Neigung von — 21° das eine Doppelbild des andern Strahls, und bei den beiden von diesen Stellungen um 90° abweichenden Stellungen ereignet sich dasselbe mit dem andern Doppelbilde.

40. Diese Erörterungen lassen nun, wie ich hoffe, deutlich übersehn, worauf Brewster's Behauptung beruhet, daſs auch das auf den ersten Spiegel fallende natürliche Licht da, wo es unvollkommen polarisirt ist, eine physische Veränderung auf die Weise erlitten hat, daſs es keineswegs aus einem ganz polarisirten (in der Reflexions-Ebene polarisirten) An-

theile und einem völlig unveränderten Antheile bestehe. Nach seinen Versuchen, bei denen er zwei Lichtstrahlen, deren Polarisations-Ebenen *vor* der Zurückwerfung unter $\pm$ 45° gegen die Reflexions-Ebene geneigt waren, anwandte, fand sich *nach* der Reflexion diese Neigung = $\pm$ 45° bei 90° Einfallswinkel,

= $\pm$ 33°,5 bei 80°,
= $\pm$ 21° bei 70°,
= $\pm$ 6°,25 bei 60°,
= 0° bei 56° = dem Polarisationswinkel,
= $\pm$ 9° bei 50°,
= $\pm$ 23° bei 40°,
= $\pm$ 40° bei 20°.

41. Dieselben Versuche liefsen sich so wiederholen, dafs man des einen einfallenden Strahls Polarisations-Ebene in eine Neigung von 30°, 20° u. s. w. gegen die Reflexions-Ebenen brachte und die Aenderung der Polarisations-Ebenen *nach* der Zurückwerfung bestimmte. Brewster führt eine solche Beobachtungsreihe an, wo bei ungeändertem Einfallswinkel = 75° die Aenderung der Polarisations-Ebene folgende war. Stimmte diese vorher mit der Reflexions-Ebene überein, so blieb auch nachher ihre Neigung gegen diese = 0; war aber die Neigung vorher = 20°, so war sie nachher = 10°,

= 40° - - - = 22°,5,
= 60° - - - = 40°,5,
= 80° - - - = 70°,5,
= 90° - - - = 90°.

Alle Versuche stimmten, obgleich sie theils mit Glas, theils mit Diamant angestellt wurden, so nahe mit Fresnel's Formel überein, dafs man diese als die vollkommen richtige Darstellung aller Versuche ansehn könnte.

Diese Formel, in welcher i der Einfallswinkel, i' der Brechungswinkel ist, α aber die Neigung der Polarisations-Ebene gegen die Reflexions-Ebene *vor* der Zurückwerfung, α' *nach* der Zurückwerfung bedeutet, war [1]

$$\text{Tang.}\ \alpha' = \text{Tang.}\ \alpha.\ \frac{\text{Cos.}\ (i + i')}{\text{Cos.}\ (i - i')}.$$

---

1 nr. 38.

Wenn $i =$ dem Polarisationswinkel ist, so wird $i + i' = 90°$ und $\alpha' = 0$, es mochten vor der Zurückwerfung die Lichtstrahlen, in welcher Ebene man will, polarisirt gewesen seyn, und so zeigt also diese Formel, dafs dieser Winkel der Winkel vollkommener Polarisation in der Zurückwerfungs-Ebene ist, weil für ihn alle Strahlen auf die Polarisation in dieser Ebene gebracht werden.

42. Brewster wendet diese Betrachtungen vorzüglich nur auf Strahlen an, die aus einem in $+ 45°$ und $- 45°$ Neigung polarisirten Lichte gemischt einfielen. Von diesen erhellt nun, dafs sie für $i = 62° \; 30'$, womit $i' = 36° \; 45'$ zusammengehört, in $\pm 10° \; 7'$ polarisirt waren, aber bei einer zweiten Reflexion unter demselben Winkel $i = 62° \; 30$ ist dann $\alpha = 10° \; 7'$, also $\alpha' = 1° \; 50'$, und diese Strahlen sind nach zwei Reflexionen fast in der Ebene der Zurückwerfung, nur um $\pm 1° \; 50'$ von ihr abweichend, polarisirt. Ebenso für $i = 50° \; 20', i' = 31° \; 17'$, $\alpha = 45°$ ist $\alpha' = 8° \; 46'$ und nach der zweiten Reflexion unter demselben Winkel $\alpha = 8° \; 46'$, $\alpha' = 1° \; 22'$. Will man für drei Reflexionen rechnen, so sollten nach Brewster diese die vollkommene Polarisation bewirken, wenn i entweder $= 65° \; 33'$ oder $46° \; 30'$ ist. Nenne ich nun α, α', α'', α''' die Neigungen der Polarisations-Ebenen vor der ersten und nach den verschiedenen Reflexionen, so giebt $i = 65° \; 33'$, $i' = 37° \; 53'$; $\alpha = 45°$, $\alpha' = 14° \; 42'$, $\alpha'' = 3° \; 57'$, $\alpha''' = 1° \; 2'$, und $i = 46° \; 30'$; $i' = 29° \; 18'$, $\alpha = 45°$ giebt $\alpha' = 14° \; 53'$, $\alpha'' = 3° \; 47'$, $\alpha''' = 0° \; 58'$. Also gaben die Beobachtungen schon eine so gut wie vollkommene Polarisation, obgleich die Polarisations-Ebene bei zwei Zurückwerfungen noch in $\pm 1° \; 50'$ oder $\pm 1° \; 22'$, bei drei Zurückwerfungen in $\pm 1°$ lagen.

Für natürliches Licht sollte man freilich etwas anders rechnen, aber das Resultat stimmt mit demjenigen, was man für zwei in $\pm 45°$ polarisirte Strahlen findet, überein.

43. Auch Fresnel's Formel für die Intensität des reflectirten Strahls, die für jeden Einfallswinkel und jede Neigung der Polarisations-Ebene gegen die Zurückwerfungs-Ebene $= \alpha$ gilt, nämlich:

$$I = \left(\frac{\text{Sin.}\,(i - i')}{\text{Sin.}\,(i + i')} \text{ Cos. } \alpha\right)^2 + \left(\frac{\text{Tang.}\,(i - i')}{\text{Tang.}\,(i + i')} \text{ Sin. } \alpha\right)^2,$$

findet hier Anwendung.

Diese Formel giebt folgende Resultate für einige Hauptfälle.

1. Wenn i der Polarisationswinkel ist, also $i + i' = 90°$, so verschwindet der letzte Theil der Formel, und da für $\alpha = 0$ $I = (\text{Sin.}(i - i'))^2$ ist, so ist dieses die Intensität des in der Polarisations-Ebene zurückgeworfenen Lichts und $I = 0$ die Intensität des Lichts in einer auf die Polarisations-Ebene senkrechten Zurückwerfungs-Ebene. 2. Den Fall, wenn i sehr klein ist, haben wir schon oben betrachtet und

$$I = \left(\frac{i - i'}{i + i'}\right)^2 = \left(\frac{1 - \mu}{1 + \mu}\right)^2 \text{ gefunden.}$$

3. Könnte man nun das natürliche Licht als gemischt aus zwei Arten polarisirten Lichts, nämlich in $+45°$ und $-45°$ polarisirt ansehn, so würde man die Intensität des reflectirten Lichts

$$= \tfrac{1}{2}\left(\frac{\text{Sin.}(i - i')}{\text{Sin.}(i + i')}\right)^2 + \tfrac{1}{2}\left(\frac{\text{Tang.}(i - i')}{\text{Tang.}(i + i')}\right)^2$$

erhalten. Nähme man das Licht als aus zwei Theilen, jeden $= \frac{1}{2}$, bestehend und den einen in 0°, den andern in 90° polarisirt an, so erhielte man dasselbe. Wenn man endlich das Licht als aus zwei Theilen, jeden $= \frac{1}{2}$, bestehend und den einen in α, den andern in $90° - \alpha$ polarisirt ansieht, so giebt die Verbindung beider denselben Ausdruck für die Intensität des reflectirten Lichts, so daſs dieser als die wahre Bestimmung des unter irgend einem Winkel reflectirten natürlichen, aus allen Arten polarisirten Lichts gemischten, Lichts angesehn werden kann.

44. Hieran läſst sich die Beantwortung der Frage knüpfen, wie sich bei mehreren Reflexionen ein Lichtstrahl aus allen Arten polarisirten Lichts gemischt verhalten wird. Ich will bei dem einen Falle stehn bleiben, in welchem, wie es bei Brewster's neueren Versuchen statt fand, ein unter 61° 3′ einfallender Lichtstrahl nach zwei Reflexionen als ganz polarisirt erschien. Das hier gebrauchte Glas gab 56° 45′ als Polarisationswinkel, $i = 61° 3'$ giebt daher $i' = 35° 0',5$. Nimmt man nun den unpolarisirten Lichtstrahl so an, als ob er halb in $+45°$, halb in $-45°$ polarisirt wäre, so ist der einmal reflectirte Strahl in $\pm 6° 42'$, der zweimal reflectirte in $\pm 0° 47'$ polarisirt. Die ganze Intensität des einmal reflectirten Strahls ist $= 0{,}0988018$, des zweimal reflectirten Strahls $= 0{,}0189993$, und wenn dieser durch einen Doppelspath geht, dessen Hauptschnitt in der Reflexions-Ebene liegt, so ist sein nicht in der Reflexions-Ebene

polarisirter Theil oder sein ungewöhnlich gebrochener Theil $= 0,0189993 . (\text{Sin.}\, 0^\circ\, 47')^2 = 0,0000036$[1]. Wäre der zweimal zurückgeworfene Strahl von einer dritten Spiegelfläche unter dem Polarisationswinkel und so aufgefangen, dafs die dritte Reflexions-Ebene senkrecht gegen die vorigen wäre, so erhielte man das reflectirte Licht noch schwächer. Es erhellt also leicht, dafs ein solcher Strahl als vollkommen polarisirt oder als im Kalkspath gar kein ungewöhnliches Bild mehr gebend erscheinen wird, obgleich in völliger Strenge noch ein sehr schwacher Unterschied in Vergleichung gegen polarisirtes Licht übrig bleibt. Aber diese Ueberlegungen zeigen auch, dafs der Versuch mit einem zweiten Kalkspath, dessen Hauptschnitt in der Reflexions-Ebene liegt, über die physische Veränderung nicht entscheidet, die der Strahl schon bei der ersten Reflexion erlitten hat. Denn wenn die Polarisations-Ebenen in $\pm\, 6^\circ\, 42'$ liegen und die Intensität des Lichts nach *einer* Reflexion $= 0,0988$ ist, so giebt der Kalkspath einen in der Reflexions-Ebene polarisirten Strahl $= 0,0988 . (\text{Cos.}\, 6^\circ\, 42')^2 = 0,09745$ und einen senkrecht auf diese Ebene polarisirten Strahl
$= 0,0988 . (\text{Sin.}\, 6^\circ\, 42')^2 = 0,001345$, gerade so wie er ihn geben würde, wenn die Lichtmenge $= 0,09611$ vollkommen polarisirt und $= 0,00269$ vollkommen unpolarisirt gewesen wäre.

45. Es scheint also hieraus das entschiedene, mit Fresnel's Theorie vollkommen übereinstimmende Resultat hervorzugehn, dafs jeder reflectirte Strahl, wenn er nicht senkrecht aufgefallen ist, eine Veränderung seiner natürlichen Beschaffenheit erlitten hat, dafs nämlich, wenn wir uns im natürlichen Strahle gleichsam alle Arten von Polarisationen vereinigt denken, diese Polarisationen in der Zurückwerfung eine Aenderung erlitten haben. Will man in Brewster's Ausdrücken reden, so würde man sagen, die Lichttheilchen haben Ebenen, von deren Lage die Polarisation abhängt; im natürlichen Strahle haben diese Ebenen der nach einander antreffenden Lichttheilchen alle möglichen Lagen und bei der Reflexion ändern alle diese Ebenen ihre Lage, indem nur diejenigen Lagen allein ungeändert bleiben, deren Ebenen in der Reflexions-Ebene liegen oder senk-

---

1 Ich weifs nicht, wie Brewster hier 0,00037 erhält, glaube aber in meiner Rechnung mich nicht zu irren.

recht gegen dieselbe. Zum Beispiel bei 70° Einfallswinkel geht, wenn der Polarisationswinkel = 56° 45′ ist,

$\alpha = 85°$ in $\alpha' = 76° 31'$,
$\alpha = 80°$ in $\alpha' = 64° 12'$,
$\alpha = 60°$ in $\alpha' = 32° 18'$,
$\alpha = 40°$ in $\alpha' = 17° 1'$,
$\alpha = 20°$ in $\alpha' = 7° 34'$

über und die Hälfte des einfallenden Lichts hat also eine Polarisation angenommen, die weniger als 20° von der Reflexions-Ebene entfernt ist, und nur etwa der achtzehnte Theil des einfallenden Lichts hat, so fern er reflectirt wird, jene Ebenen zwischen 90° und 76°,5. Aber unter den Theilchen, deren Ebenen in 90° lagen, werden, wenn ihre Menge = I war, nur 0,04128. I reflectirt, von denen, deren Ebenen in 85° lagen, nur 0,04096. I, also reducirt sich jenes Achtzehntel ungefähr auf $\frac{1}{18}$. 0,0411 = 0,0023, etwa auf $\frac{1}{500}$ des ganzen Lichts, wogegen die in 0° bis 10° polarisirt einfallenden Theilchen ungefähr in dem Verhältnifs 0,3060 reflectirt werden. Nennt man also (I) die gesammte einfallende Lichtmenge, $\frac{1}{3}$(I) die, deren Polarisations-Ebenen zwischen 0° und 30° lagen, $\frac{1}{18}$(I) die, deren Polarisations-Ebenen zwischen 85° und 90° lagen, so finden sich von jenen, die nach der Reflexion fast alle auf 0° bis 10° zurückgekommen sind, 0,102. (I) in dem reflectirten Strahle, von den andern nur 0,0023. (I). Es wird nicht nöthig seyn, die Rechnung weiter fortzuführen, da hieraus schon erhellt, in welchem Mafse die Polarisation derjenigen näher gekommen ist, die wir, als mit der Reflexions-Ebene übereinstimmend, vollkommene Polarisation nennen würden. Uebrigens liefsen sich die Ausdrücke leicht völlig in die Sprache der Undulationstheorie, wo es auf die Richtung der Quervibrationen ankommt, übersetzen, wobei ich um so weniger zu verweilen nöthig finde, da nr. 37 und 38 hierüber vollständige Auskunft geben.

46. Die Gesetze der Polarisation bei zurückgeworfenen Strahlen, die schon vorher polarisirt waren, gehn hieraus und aus den Formeln Fresnel's von selbst hervor. Ist der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich, so wird jeder, auch der polarisirt einfallende Strahl, als in der Reflexions-Ebene polarisirt zurückgeworfen, und zwar mit desto geringerer Intensität, je mehr seine vorige Polarisations-Ebene sich dem rechten Winkel mit der Reflexions-Ebene nähert. Also ist bei un-

sem Polarisations-Instrumente das aus dem zweiten Spiegel hervorgehende Licht immer und bei jeder Drehungsstellung ganz in der Reflexions-Ebene polarisirt, wenn dieser zweite Spiegel auf den Polarisationswinkel gestellt ist. Bei der Stellung auf einen andern Winkel würde man den neuen Polarisationswinkel ebenso wie vorhin berechnen und also in allen Fällen bei völlig polarisirtem Lichte sowohl, als da, wo nach Brewster's Ansicht der Strahl aus Portionen, die in verschiedenen Ebenen polarisirt sind, besteht, alle Fragen beantworten können.

Eine wiederholte und genaue Untersuchung über die noch so wenig mit photometrischen Mitteln untersuchte Intensität des Lichts würde hier wohl noch manche Belehrung gewähren können[1].

47. Ich gehe nun zu den Veränderungen über, welche die Polarisation durch Brechung der Strahlen erleidet. Man hat meistens angenommen, wenn das Licht unter irgend einem Winkel geneigt auf eine Glasplatte auffalle, so enthalte das durchgelassene Licht ebensoviel polarisirtes Licht, als das zurückgeworfene, in jenem aber sey die Polarisirungs-Ebene senkrecht gegen die Reflexions-Ebene, statt daſs sie in diesem mit derselben übereinstimmt.

Arago glaubte diese Gleichheit durch folgenden Versuch, den aber Brewster wohl mit groſsem Rechte für ungenügend erklärt, dargethan zu haben. Wenn man eine Glastafel DE so aufstellt, daſs man in O das gleichförmig weiſse und gleichförmig erleuchtete Papier AB sowohl durch den von A ausgehenden zurückgeworfenen Strahl ACO, als durch den durchgehenden Strahl BCO in der Richtung OC erblickt, so läſst sich auf folgende Weise über die Intensität des in beiden Strahlen vorhandenen polarisirten Lichts urtheilen. Man stelle in P eine Blendung mit einer engen Oeffnung auf und in Q einen Doppelspath, so zeigt sich dem Auge O ein doppeltes Bild der Oeffnung, und dieses doppelte Bild wird ungleich an Helligkeit seyn, wenn sich in dem durch P gehenden Lichtstrahle eine

Fig. 91.

1 Unter den mannigfaltigen Anwendungen, zu welchen diese hier und in den nächsten Betrachtungen angeführten Formeln führen, verdient eine höchst merkwürdige, die Airy auf die Newton'schen Farbenringe macht, wegen ihrer auffallenden Uebereinstimmung mit der Erfahrung alle Aufmerksamkeit. Phil. Magaz. Jan. 1833. 20.

Beimischung polarisirten Lichtes befindet. Läſst man nun zuerst, indem man BC durch einen zwischengesetzten Schirm unterbricht, bloſs den reflectirten Strahl zum Auge kommen, so enthält dieser (nach der gewöhnlichen Annahme) eine Menge $= a$ in der Reflexions-Ebene polarisirtes und eine Menge $= b$ natürliches Licht; steht der Doppelspath so, daſs sein Hauptschnitt mit der Reflexions- und Brechungs-Ebene zusammenfällt, so enthält das in O gesehene ungewöhnliche Bild die Lichtmenge $= \frac{1}{2} b$, das gewöhnliche $a + \frac{1}{2} b$. Und ebenso, wenn man in AC den Schirm aufstellt, also bloſs durchgelassenes Licht empfängt, so ist eine gewisse Lichtmenge $= a'$ polarisirt in einer gegen die vorige Polarisations-Ebene senkrechten Ebene, eine Lichtmenge $= b'$ unpolarisirt, und der in O ankommende Strahl besteht aus einem ungewöhnlich gebrochenen $= a' + \frac{1}{2} b'$ und aus einem gewöhnlich gebrochenen $= \frac{1}{2} b'$. Kommen also, indem man den Schirm ganz wegläſst, beide Strahlen gemischt zum Auge, so enthält das gewöhnliche Bild die Lichtmenge $= a + \frac{1}{2}(b + b')$, das ungewöhnliche Bild die Lichtmenge $= a' + \frac{1}{2}(b + b')$, und Arago glaubte zu finden, daſs diese beiden Lichtmengen bei jedem Einfallswinkel gleich erschienen, woraus dann allerdings $a = a'$ folgen oder die beiden entgegengesetzt polarisirten Lichtmengen sich als gleich ergeben würden.

Brewster, mit dessen Versuchen die Voraussetzung eines aus völlig polarisirtem und aus völlig unpolarisirtem Lichte bestehenden Strahls unvereinbar ist, macht gegen diesen Versuch folgende Einwendungen: erstlich, daſs die bloſse scheinbare Gleichheit beider Bilder keine groſse Sicherheit über die wirkliche Gleichheit gewähre, also der Versuch doch nur als eine oberflächliche Schätzung anzusehn sey, und zweitens, daſs Arago nicht daran gedacht habe, daſs weder der eine noch der andre Lichtstrahl ganz rein das sey, was er seyn sollte, indem mit dem reflectirten Strahle sich ein an der ersten Oberfläche gebrochenes und an der zweiten reflectirtes Licht und selbst Licht, das mehrere Reflexionen erlitten hat, mische und mit dem durchgelassenen Strahle sich gleichfalls solches mische, das zwei Reflexionen im Innern des Glases erlitten habe. Ueber die Einwirkung dieser Mischung werde ich noch mehr sagen müssen, aber schon hier scheint mir zu erhellen, daſs man jene

Gleichheit nicht als durch diesen Versuch streng erwiesen ansehn könne.

48. Brewster hatte schon früher auch von den durchgelassenen Strahlen angenommen, dafs sie nicht aus einem Antheile vollkommen polarisirten Lichts und einem Antheile ganz unveränderten Lichts beständen; aber allerdings waren seine frühern Beweise hierfür nicht ganz entscheidend und gaben daher Herschel Veranlassung, sich *gegen* ihn und *für* jene Ansicht, als die einfachere, zu erklären; seine neueren Versuche scheinen dagegen den Gegenstand in ein neues und vollkommneres Licht zu setzen[1]. Er bediente sich bei diesen Versuchen einer Glasplatte, deren beide Oberflächen zwar wenig, aber doch soviel vom Parallelismus abwichen, dafs die durch Reflexion an der innern. Seite der Oberflächen hervorgehenden Strahlen nicht mit dem geradezu durchgegangenen Strahle vermischt wurden. Auf diese Platte, welche auf einem getheilten Kreise lag, fielen zwei in einem Doppelspathe in $+45°$ und in $-45°$ gegen die Refractions-Ebene polarisirte Lichtstrahlen, und es wurde nun (auf ähnliche Weise, wie bei der Zurückwerfung, wenn gleich Brewster nur andeutet, dafs er sich eines zweiten Doppelspaths bedient habe) gefunden, erstlich dafs bei senkrecht einfallenden Strahlen die Polarisations-Ebenen ungeändert blieben, also für den Einfallswinkel $i=0$; zweitens dafs bei $i=30°$ jene Winkel in $\pm 45° 40'$ übergegangen sind; drittens bei $i=60°$ in $\pm 50° 7'$; viertens bei $i=90°$ oder bei sehr flach einfallenden Strahlen in $66° 19'$. Hiernach erleiden also die Lichtstrahlen eine wahre physische Veränderung, indem die vor dem Durchgange unter $90°$ gegen einander geneigten Polarisations-Ebenen nach dem Durchgange desto gröfsere Winkel mit einander machen, je schiefer der Strahl einfiel. Diese Drehung der Polarisations-Ebenen ist schwächer bei schwach brechenden, stärker bei stark brechenden Körpern, zum Beispiel für $i=85°$ im Wasser nur $=9° 17'$, also die Polarisirungs-Ebenen zu der Richtung $54° 17'$ gelangt; im Tafelglase bei $i=80°$ ist diese Richtung $=58° 42'$; in einem stark brechenden Metallglase bei $i=80°$ ist sie $62° 32'$.

49. Bei diesem Versuche fand die Einwirkung beider Oberflächen des brechenden Körpers statt. Um dagegen nur *eine*

---

1 Ph. Tr. 1830. 133. und Poggend. XIX. 281.

Oberfläche einwirken zu lassen, bediente Brewster sich eines Prisma's, auf dessen eine Seite der Lichtstrahl senkrecht auffiel, also, da hierdurch gar keine Aenderung in der Polarisation bewirkt wird, bloſs der Durchgang durch *eine* Oberfläche in Betrachtung kam; und so fand sich, daſs die Polarisations-Ebenen aus $\pm 45°$ übergingen in $\pm 45° 22'$, wenn der Einfallswinkel $32° 20'$ war, in $47° 25'$ bei dem Einfallswinkel $= 54° 50'$, in $54° 15'$ bei dem Einfallswinkel $= 87° 38'$.

Im Allgemeinen stimmt die Formel Cotang. $\alpha' = \text{Cos.}(i - i')$ mit den Versuchen überein, wenn vor dem Durchgange die Polarisations-Ebene um 45° gegen die Refractions-Ebene geneigt war und α' eben diese Neigung nach dem Durchgange angiebt, i und i' aber die Bedeutung wie in Nr. 41 haben. War diese Neigung vor dem Durchgange nicht $= 45°$, sondern $= \alpha$, so ist

$$\text{Cotang. } \alpha' = \text{Cotang. } \alpha. \ \text{Cos.}(i - i')$$

die allgemein geltende Formel. An der zweiten Oberfläche gilt dieselbe Formel, aber der Werth von α ist dann so zu nehmen, wie die erste Fläche ihn hervorgebracht hat, das ist bei Strahlen, die in 45° polarisirt eintrafen, so, daſs

$$\text{Cotang. } \alpha = \text{Cos.}(i - i'), \text{ also}$$
$$\text{Cotang. } \alpha' = (\text{Cos.}(i - i'))^2.$$

Das gäbe also für eine Platte, wo beide Seiten parallel sind, wenn der Einfallswinkel $i = 80°$, $i' = 40° 13'$ war und die Polarisations-Ebene in 45° vor dem Eintreten, daſs sie in 52° 28' im Innern der Platte, in 59° 28' nach dem Durchgange gekommen seyn muſste [1]. Wie man bei dem Durchgange durch mehrere Platten rechnen muſs, ergiebt sich nun leicht. Es erhellt auch, daſs die absolut strenge Polarisation nach diesen Formeln nie, selbst nach dem Durchgange durch zahlreiche parallele Platten eintreten wird, daſs aber die Neigung der Polarisations-Ebene gegen die Refractions-Ebene dem rechten Winkel so nahe kommt, daſs die Abweichung von der vollkommenen Polarisation nicht mehr merklich ist.

50. Aus diesen Versuchen und Folgerungen, die mir sehr wohl begründet scheinen, geht nun auch hervor, daſs die Frage, ob der polarisirte Antheil im reflectirten Strahle ebenso groſs als der entgegengesetzt polarisirte Antheil im gebrochenen Strahle sey,

---

1 Brewster hat für ein anderes Brechungsverhältniſs gerechnet, ich habe $\mu = \text{Cotang. } 56° 45'$ beibehalten.

ihre eigentliche Bedeutung verliert, indem von einer strengen Unterscheidung der polarisirten und unpolarisirten Theile nicht mehr die Rede ist. Gleichwohl sucht Brewster die Menge des anscheinend polarisirten Lichts, das heifst, die Intensität desjenigen Lichts, das im Durchgange durch den mit seinem Hauptschnitte in der Reflexions-Ebene oder Refractions-Ebene aufgestellten Doppelspath sich als anscheinend polarisirt zeigt, zu bestimmen.

Wenn R die ganze reflectirte Lichtmenge ist und diese wäre in einer Richtung und unter dem Winkel $= \alpha'$ gegen den Hauptschnitt des Krystalls geneigt polarisirt, so wird die Lichtmenge $= R \,\text{Cos.}^2 \alpha'$ gewöhnlich und $R.\,\text{Sin.}^2 \alpha'$ ungewöhnlich gebrochen; es ist also so, als ob $R\,(\text{Cos.}^2 \alpha' - \text{Sin.}^2 \alpha')$ polarisirt gewesen wäre und zu dieser, nun ganz der gewöhnlichen Brechung folgenden Menge noch die halbe unpolarisirte Lichtmenge $= R.\,\text{Sin.}^2 \alpha'$, der ungewöhnlich gebrochenen gleich, käme. Ist also ein Lichtstrahl aus gewöhnlichem Lichte anzusehn, als ob er aus einem in $\pm 45^\circ$ polarisirten Lichte bestände, so ist nach dem Vorigen (nr. 38)

$$R = \frac{1}{2}\left(\frac{\text{Sin.}(i-i')}{\text{Sin.}(i+i')}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\text{Tang}\,(i-i')}{\text{Tang.}(i+i')}\right)^2$$

$$\text{und Tang}\ \alpha' = \frac{\text{Cos.}(i+i')}{\text{Cos.}\,(i-i')},\ \text{woraus}$$

$$\text{Sin.}^2 \alpha' = \frac{\text{Cos.}^2 (i+i')}{\text{Cos.}^2 (i-i') + \text{Cos.}^2 (i+i')}\ \text{folgt.}$$

Die durchgehende Lichtmenge ist $= (1 - R)$, und von dieser ist, wenn sie in der Richtung α'' polarisirt war, im Doppelspath die Lichtmenge $= (1 - R)\ \text{Sin.}^2 \alpha''$ ungewöhnlich und $(1 - R)\ \text{Cos.}^2 \alpha''$ gewöhnlich gebrochen, so dafs $(1 - R)\,(\text{Sin.}^2 \alpha'' - \text{Cos.}^2 \alpha'')$ als schon vor dem Eintritte in den Krystall senkrecht auf die Refractions-Ebene polarisirt erscheint. Setzt man nun für α' den eben gefundenen Werth und für α'' den aus $\text{Cotang.}\,\alpha'' = \text{Cos.}^2 (i - i')$ hervorgehenden, so läfst sich zeigen, dafs die beiden eben als polarisirt bezeichneten Lichtmengen

$$= R \left\{ \frac{\text{Cos.}^2 (i+i') - \text{Cos.}^2 (i-i')}{\text{Cos.}^2 (i+i') + \text{Cos.}^2 (i-i')} \right\}$$

$= (1 - R) \left\{ \frac{\text{Cos.}^2 (i - i') - 1)}{1 + \text{Cos.}^2 (i - i')} \right\}$ sind. Bringt man nämlich diese Brüche auf einerlei Nenner, so ist

$\text{Cos.}^2 (i + i').\ \text{Sin.}^2 (i - i') + \text{Cos.}^2 (i - i')\ \text{Sin.}^2 (i - i')$
$= R\,[2\,\text{Cos.}^2 (i - i')\ \text{Sin.}^2 (i + i')]$,

also $R = \frac{1}{2} \frac{\text{Tang.}^2 (i - i')}{\text{Tang.}^2 (i + i')} + \frac{1}{2} \frac{\text{Sin.}^2 (i - i')}{\text{Sin.}^2 (i + i')}$,

welches gerade der Werth von R ist, den wir vorhin für R fanden. Hier ist für α'' der Werth gesetzt, der für den in die Platte eingedrungenen, aber noch nicht durch die zweite Oberfläche gegangnen Strahl gilt, so daſs diese Gleichheit nur statt fände, wenn der durchgehende Strahl an der zweiten Oberfläche keine neue Veränderung erlitte.

Brewster macht noch folgende Bemerkungen. 1. Das gesammte reflectirte Licht ist dem durchgelassenen gleich, wenn für $\alpha = 42°$, $\alpha' + \alpha'' = 90°$ ist, welches bei dem von Brewster angewandten Glase für $i = 82° 4'$ der Fall war. 2. Wenn die Menge des durchgelassenen Lichts gleich der Hälfte des reflectirten ist, so hat man $(i - i') = 45°$, welches bei $85° 50' 40''$ statt fand, und dann erscheint das als polarisirt durchgelassene als $= \frac{1}{3}$ des gesammten durchgelassenen Lichts. 3. Bei dem Polarisationswinkel ist $i + i' = 90°$, die Menge des reflectirten und ganz polarisirten Lichts

$$= \tfrac{1}{2}\,\text{Sin.}^2 (i - i') = \tfrac{1}{2}\,\text{Cos.}^2 2i.$$

51. Wenn ein schon polarisirter Strahl auf die spiegelnde Platte auffällt, so geht seine Polarisation aus der unter α' geneigten Ebene nach der ersten Brechung in die Neigung α'', nach der zweiten Brechung in die Neigung α''' über, und wenn die Seiten der Platte parallel sind, so ist

$$\text{Cotang. } \alpha'' = \text{Cotang. } \alpha' \text{ Cos. } (i - i'),$$
$$\text{Cotang. } \alpha''' = \text{Cotang. } \alpha' \text{ Cos.}^2 (i - i').$$

Und hieraus würde man so ziemlich alle Fragen, die hier vorkommen, beantworten können, wenn man auf die durch mehrmalige Reflexion im Innern der Platte veränderten Strahlen, die sich gewöhnlich mit den durchgelassenen mischen, nicht sieht.

52. Auch über die Veränderung der Polarisation, welche bei einem an der Rückseite der Platte reflectirten Strahle eintritt, hat Brewster Versuche angestellt. Er bediente sich hiezu einer in a M schief abgeschnittenen dicken Glasplatte

Fig. 92.

und gab dem einfallenden Strahle RA die Richtung, dafs der gebrochene und reflectirte Strahl RACBS bei B die Oberfläche senkrecht traf, damit dort die Polarisation keine Aenderung erlitte. Fielen dann Strahlen, die in $\pm 45^\circ$ polarisirt waren, wie RA, unter 83° Einfallswinkel auf, so mufste (da Cotang. 53° sehr nahe $=$ Cos. $(83^\circ - 42^\circ)$ und hier $i = 83^\circ$, $i' = 42^\circ$ war) der Strahl AC eine Polarisation in $\pm 53^\circ$ angenommen haben; diese veränderte sich bei der Zurückwerfung (nach nr. 41) in $45^\circ, 25$ (weil

$$\text{Tang.}\, 45^\circ{,}25 = \frac{\text{Tang.}\, 53^\circ\ \text{Cos.}\ 125^\circ}{\text{Cos.}\, 41^\circ})$$

und das Licht mufste also bei seinem Hervorgehn in B fast wieder in $\pm 45^\circ$ polarisirt seyn. Dagegen, wenn der Strahl durch das angekittete Stück maM ging und also mit AP parallel hervorkam, so hatte die zweite Refraction die Polarisations-Ebene wieder in die Stellung $\pm 53^\circ$ gebracht, statt dafs der einfach zurückgeworfene Strahl seine Polarisations-Ebene in 37° hatte

$$(\text{weil Tang.}\, 37^\circ = \frac{\text{Tang.}\, 45^\circ\ \text{Cos.}\, 125^\circ}{\text{Cos.}\, 41^\circ}).$$

Da für Lichtstrahlen, deren anfängliche Polarisation $\pm 45^\circ$ war, nach der ersten Brechung Cotang. $\alpha' =$ Cos. $(i - i')$, nach der innern Reflexion

$$\text{Tang.}\ \alpha'' = \frac{\text{Tang.}\,\alpha'.\ \text{Cos.}\,(i + i')}{\text{Cos.}\,(i - i')} = \frac{\text{Cos.}\ (i + i')}{\text{Cos.}^2\,(i - i')}$$

und nach einer zweiten Brechung in parallelen Oberflächen Cotang. $\alpha''' =$ Cotang. α''. Cos. $(i - i')$ oder

$$\text{Cotang.}\ \alpha''' = \frac{\text{Cos.}^3\,(i - i')}{\text{Cos.}\ (i + i')},$$

so wird $\alpha'' = 45^\circ$, wenn Cos. $(i + i')$ = Cos.^{2} $(i - i')$, welches für Glas ungefähr bei $i = 83^\circ$ statt findet, dagegen $\alpha''' = 45^\circ$ für Cos.^{3} $(i - i')$ = Cos. $(i + i')$, welches für Glas ungefähr bei $i = 78^\circ$, für Wasser bei $i = 80^\circ$ statt findet. Im letzten Falle geht also der in $\pm 45^\circ$ polarisirt gewesene Lichtstrahl nach zwei Brechungen und einer innern Zurückwerfung in seinem vorigen Polarisationszustande hervor.

Hieraus erhellt, welche Unsicherheiten in der Beurtheilung des von einer Glasplatte reflectirten Lichts daraus entstehn, dafs sich mit dem an der ersten Oberfläche reflectirten Lichte bei dünnen Glasplatten derjenige Lichtstrahl vollkom-

men mischt, welcher an der Rückseite reflectirt wird, indem dieser eine ganz andere Polarisation erhält, als jener[1].

V. Ueber die Interferenzen polarisirter Strahlen.

53. Arago und Fresnel haben die Versuche, wo bei den Interferenzen gewöhnlicher Lichtstrahlen Farbenränder hervorgehn, mit polarisirten Lichtstrahlen angestellt und hier gefunden, daſs zwei gleich polarisirte Strahlen, die nämlich von derselben Lichtquelle ausgehend eine gleiche Polarisation erlitten haben und nach einem Wege, dessen Länge nur um sehr wenig verschieden ist, zusammentreffen, eben solche Interferenzen zeigen, wie es bei unpolarisirtem Lichte der Fall ist[2]. Gingen nämlich die von dem Brennpuncte einer Linse ausgehenden Strahlen, nachdem sie polarisirt waren, an einem schmalen, dunkeln Körper vorbei, so stellten sich in dem Schatten desselben dieselben Farbenstreifen dar, welche sich im unpolarisirten Lichte zeigen.

54. Dagegen wenn zwei Lichtstrahlen entgegengesetzt polarisirt sind, d. h. so polarisirt sind, daſs ihre Polarisations-Ebenen auf einander senkrecht stehn, so bringt das Zusammentreffen solcher Strahlen nicht die bei gewöhnlichem Lichte oder bei gleich polarisirten Strahlen vorkommenden Interferenzen hervor. Um zwei entgegengesetzt polarisirte Lichtstrahlen zu erhalten, die doch in Hinsicht der Länge der Wege und der Geschwindigkeiten, mit welchen sie dieselben durchlaufen haben, ganz gleich wären, zerschnitt Fresnel einen Doppelspath nach einer gegen die zwei parallelen natürlichen Oberflächen senkrechten Richtung und legte nun die beiden Stücke so auf einander, daſs ihre Hauptschnitte einen rechten Winkel mit einander bildeten. Es war hier für gewiſs anzunehmen, daſs das eine Stück in der Nähe der Trennungs-

---

1 Phil. Tr. 1830. 145. Poggend. XIX. 518. Ueber die vollkommene Zurückwerfung *aller* Lichtstrahlen an der zweiten Oberfläche eines prismatischen Körpers hat Fresnel Untersuchungen angestellt, die bei der Circularpolarisation erwähnt werden. (Nr. 124.)

2 S Art. *Interferenz* und Art. *Inflexion;* auch Art. *Licht* S. 846. und vorzüglich auch Art. *Undulationstheorie.*

fläche dieselbe Dicke hatte, wie das andre Stück, und dafs daher ein durch beide gleich dicke Stücke gehender Strahl, der in zwei Strahlen gespalten hervorging, in Hinsicht der Wege und Geschwindigkeiten als völlig compensirt anzusehn sey. War nämlich gleich beim Eintritte in das erste Stück des Doppelspaths eine Spaltung in zwei Strahlen eingetreten und hatten diese Strahlen im ersten Stücke ungleiche Wege mit ungleichen Geschwindigkeiten durchlaufen, so mufsten doch, weil der Hauptschnitt des zweiten Stücks senkrecht gegen den des ersten war, diese Ungleichheiten im zweiten Stücke auf die gerade entgegengesetzte Weise eintreten, und die zwei hervorgehenden Strahlen hatten, nach dem Hervorgehn aus dem zweiten ebenso dicken Stücke, nicht blofs gleiche Wege, sondern diese auch in gleichen Zeiten durchlaufen, weil der im ersten Stücke gewöhnlich gebrochene Strahl im zweiten ungewöhnlich gebrochen wurde, und so umgekehrt Die beiden hervorgehenden Strahlen unterschieden sich also in nichts als in der Polarisation, die bei dem einen mit der Ebene des letzten Hauptschnitts parallel, bei dem andern auf dieselbe senkrecht war. Diese Strahlen nun gaben, wenn man sie so, wie es die Interferenzversuche fordern, auf einander einwirken liefs, keine Farbenstreifen. Und wäre nun hier auch die Voraussetzung einer vollkommen gleichen Dicke an der Stelle des Durchgangs der Strahlen nicht streng richtig gewesen, so hätte doch eine kleine Veränderung des Einfallswinkels auf den zweiten Krystall die Compensation der Länge der Wege herstellen müssen, was aber nicht der Fall war [1].

55. Einen ähnlichen Beweis für das gänzliche Ausbleiben der Interferenz-Erscheinungen bei zwei entgegengesetzt polarisirten Strahlen gab folgender Versuch. In einer Kupferplatte befanden sich zwei sehr schmale Oeffnungen so nahe bei einander, dafs die von *einer* Quelle ausgegangnen Strahlen nach dem Durchgange mit einander zusammentreffen und die Interferenz-Erscheinungen darstellen mufsten. Wurde nun der auf diese Oeffnungen auffallende Lichtstrahl durch eine dünne Platte Gyps in zwei Strahlen, einen ungewöhnlich gebrochenen und einen gewöhnlich gebrochenen, zerlegt [2], so gingen

---

1 Ann. de Ch. et Ph. X. 293. 296.

2 Die übrigens bei einer sehr dünnen Platte sich dem Auge nur als ein einziger Strahl zeigen.

durch beide Oeffnungen zwei entgegengesetzt polarisirte Strahlen. Unter diesen vier Strahlen konnte erstlich die Einwirkung der beiden gewöhnlich gebrochenen und so auch die Einwirkung der beiden ungewöhnlich gebrochenen Strahlen auf einander untersucht werden, und da jene zwei gleiche Aenderungen erlitten hatten und eine eben solche Gleichheit für die letzteren zwei statt fand, so mufsten die Farbenstreifen sich völlig so um die Mitte des Zwischenraums zwischen den Spalten darstellen, wie bei gewöhnlichem Lichte, und dieses fand auch wirklich statt. Aber neben jenen auf die Mitte fallenden Farbenstreifen durch die Interferenz beider Systeme gleich polarisirter Strahlen hätten auch zweitens die entgegengesetzt polarisirten Strahlen Farbenstreifen, und zwar seitwärts liegende, hervorbringen sollen. Diese Farbenstreifen mufsten desto mehr seitwärts liegen, je dicker die Gypsplatte war, indem das Zusammentreffen gleicher Undulationen wegen der innerhalb des Gypses erlangten ungleichen Geschwindigkeiten nicht mehr bei durchlaufenen gleichen Wegen statt finden konnte, sondern bei desto mehr ungleichen Wegen, je länger die mit ungleichen Geschwindigkeiten durchlaufenen Wege waren. Diese seitwärts liegenden Farbenstreifen zeigten sich aber nicht, und selbst dann nicht, wenn die Gypsplatte so dünn war, dafs sie gewifs nicht zu weit von der Mitte hätten erscheinen müssen; man durfte also schliefsen, dafs die Einwirkung entgegengesetzt polarisirter Strahlen auf einander keine Interferenz-Erscheinungen bewirke. Diese Ueberzeugung wurde noch durch folgenden Versuch bestärkt. Man zerschnitt die Gypsplatte und liefs das eine Stück die eine Oeffnung, das andre Stück die andre Oeffnung in der Kupferscheibe bedecken. Waren nun diese Stücke in einer Ebene, aber so gelegt, dafs das eine rechtwinklig gegen die Lage war, die es vorhin in Verbindung mit dem andern Stücke gehabt hatte, so war der durch das eine Stück gewöhnlich gebrochene Strahl in derselben Richtung polarisirt, wie der durch das andre Stück ungewöhnlich gebrochene Strahl, und die beiden Strahlen, welche (wegen der gleichen Dicke) gleiche Wege mit *gleichen* Geschwindigkeiten durchlaufen hatten, das ist beide gewöhnlich gebrochene Strahlen, waren entgegengesetzt polarisirt, und ebenso beide ungewöhnlich gebrochene. Diese hätten wegen der Gleichheit der auf gleichen Wegen vollendeten Undulationen noch immer ihre

Interferenzen durch Farbenstreifen um die Mitte zeigen sollen, aber diese erschienen für die jetzt entgegengesetzt polarisirten Strahlen nicht; dagegen zeigten sich jetzt entfernt von der Mitte an beiden Seiten Farbenstreifen, die offenbar aus den Interferenzen der gleich polarisirten Strahlen, die in den zwei Gypsplatten ungleiche Brechungen erlitten hatten (der eine die gewöhnliche, der andre die ungewöhnliche Brechung), hervorgingen. Endlich wenn man die zwei Gypsplatten so legte, dafs sie von der natürlichen Lage, wie sie dem frühern Zusammenhängen entsprach, um 45° abwichen, so gingen drei Systeme von Farbenstreifen hervor, weil nun jeder der beiden Strahlen der rechten Seite auf beide Strahlen der linken Seite einwirkte, indem die Polarisations-Ebenen nun nicht mehr auf einander senkrecht waren.

56. Diese Versuche sind es eigentlich, welche Fresnel veranlafsten, die Vibrationen, durch welche die Licht-Erscheinungen hervorgehn, als senkrecht gegen die Richtung des Strahls anzusehn. Diese Quervibrationen, die im gewöhnlichen Lichte in schnellem und gleichmäfsigem Wechsel nach allen auf die Richtung des Strahls senkrechten Richtungen statt finden, erfolgen im polarisirten Strahle immer nach einer gleichen, gegen die Polarisations-Ebene senkrechten Richtung, und es ist nun klar, dafs bei gleichem Gange zweier Lichtstrahlen, die zugleich in einerlei Ebene polarisirt sind, die Vibrationen beständig einander verstärken, dafs dagegen, wenn der eine dieser Strahlen dem andern um eine halbe Undulation voreilt, gerade entgegengesetzte Bewegungen zusammentreffen und diese sich also zerstören. Bei gleich polarisirten Strahlen müssen also die Interferenzen sich genau dem Unterschiede der Wege gemäfs verhalten.

Sind dagegen zwei Strahlen in Ebenen auf einander senkrecht polarisirt, so sind die Geschwindigkeiten, die demselben Puncte beider, nach einerlei Richtung fortgehender Strahlen eigen sind, auf einander senkrecht und können sich daher nie zerstören. Es entsteht nämlich bei übereinstimmenden Wegen genau dasselbe, wie bei einer Voreilung von einer halben Undulation, indem in beiden Fällen eine zusammengesetzte Vibration entsteht, deren Intensität durch die Summe der beiden Intensitäten ausgedrückt wird oder durch die Summe der Quadrate der beiden Vibrationsgeschwindigkeiten. Sind die

Wege nicht um halbe Undulationen, sondern um Brüche von halben Undulationen verschieden, so ändert sich im Vorbeigehn einer Undulation das Verhältniſs der beiden Geschwindigkeiten, das Licht bleibt nicht mehr polarisirt, sondern die Richtung der aus Zusammensetzung hervorgehenden Vibration wird verschieden während des Vorüberganges einer Undulationsperiode; die daraus entstehende Kreis-Vibration giebt ebenso wenig zu einer vom Unterschiede der Wege abhängenden Verschiedenheit der Intensität Anlaſs [1].

57. Zu diesen Bestimmungen, welche das wichtigste Gesetz betreffen, haben Fresnel und Arago noch eine Reihe anderer Untersuchungen hinzugefügt. Der gleich zu erzählende Versuch führt zu folgendem Gesetze, das unerwartet scheint: Sind zwei Strahlen ursprünglich in entgegengesetztem Sinne polarisirt, so können sie auf einerlei Polarisations-Ebene zurückgeführt werden, ohne dadurch fähig zu werden, einen Einfluſs auf einander auszuüben. Der Beweis dafür beruht auf einem Versuche mit zwei aus funfzehn dünnen Glimmerplatten gebildeten Säulen, die durch Zerschneiden einer einzigen solchen Säule entstanden waren. Diese beiden Säulen polarisirten das durchgelassene Licht fast vollkommen bei einem Einfallswinkel von 60° und sie wurden vor die zwei Spalten in der Kupferplatte so gestellt, daſs die Strahlen in dieser Richtung durchgingen, zugleich aber die Brechungs-Ebenen auf einander senkrecht waren. Da die hervorgehenden Strahlen in einer gegen die Brechungs-Ebene senkrechten Ebene polarisirt sind, so erhielt man auf diese Weise einen durch die eine Oeffnung gehenden Strahl, dessen Polarisation senkrecht gegen die Polarisation des durch die andere Oeffnung gehenden Strahls war. Hielt man nun einen doppelt brechenden Krystall vor das Auge, gab seinem Hauptschnitte eine Neigung von 45° gegen jene Polarisations-Ebenen und lieſs jene zwei Strahlen durch ihn zum Auge gelangen, so kamen vier Strahlen von gleicher Intensität zum Auge, deren zwei in der Ebene des Hauptschnitts, zwei senkrecht auf denselben polarisirt waren. Hier hätte man nun erwarten sollen, daſs der gewöhnlich gebrochene Strahl der Oeffnung links und der gewöhnlich ge-

1 Vergl. Ann. d. Ch. et Ph. XVII. 88. Poggend. XXIII. 388. 393. 394.

brochene Strahl der Oeffnung rechts Farbenstreifen mit einander hervorbringen würden und ebenso beide ungewöhnlich gebrochene Strahlen; aber dieses erfolgte nicht und das gegenseitige Einwirken gleich polarisirter Strahlen auf einander brachte also hier keine Interferenz-Erscheinungen hervor. HERSCHEL macht in einem seiner Abhandlung am Schlusse beigefügten Zusatze [1] die Bemerkung, dafs das hier aufgestellte Gesetz, wenn es in seinem ganzen Umfange angenommen würde, die Grundprincipien der Lehre von den Interferenzen umzustürzen scheine; ich weifs aber nicht, ob er bei dieser Aeufserung sich an FRESNEL's in einer andern Abhandlung gegebene Erörterung erinnert hat [2]. Hier sagt FRESNEL nämlich, man solle eigentlich nicht behaupten, dafs die Strahlen gar keine Wirkung auf einander ausüben, sondern vielmehr, dafs die aus den verschiedenen Wellensystemen hervorgehenden Wirkungen sich compensiren, weil bei dem einen Strahle eine halbe Undulation zugelegt werden mufs [3].

58. Es ist, fügen FRESNEL und ARAGO hinzu, wenn zwei entgegengesetzt polarisirte und nachher auf gleiche Polarisation zurückgeführte Strahlen auf einander einwirken sollen, nothwendig, dafs sie primitiv von einem in derselben Polarisations-Ebene polarisirten Strahle ausgegangen sind, wie dieses in dem folgenden Versuche statt fand. Man läfst einen polarisirten Strahl senkrecht auf eine mit der Axe parallel geschnittene Gypsplatte fallen, die mit einem zwei Oeffnungen darbietenden Kupferplättchen bedeckt ist. Der Gypsplatte giebt man die Stellung, dafs ihr Hauptschnitt um 45° geneigt gegen die Polarisations-Ebene des Strahls ist, und nun läfst man den hervorgehenden Strahl durch einen vor das Auge gehaltenen Kalkspath zum Auge, das mit einer convexen Linse bewaffnet ist [4], gelangen, giebt aber dem Kalkspathe eine solche Stellung, dafs seine Axe 45° mit der Axe des Gypsblättchens macht. Hier zeigen sich nun in jedem der beiden durch den

---

1 zu §. 959.

2 Ann. de Ch. et Ph. XVII. 104. Mém. de l'Acad. roy. VII. und Poggend. XXIII. 393.

3 Da in der Folge (nr. 68. 69.) der Grund für dieses Zulegen einer halben Undulation vorkommt, so übergehe ich ihn hier.

4 Vergl. Art. *Inflexion* S. 714.

Doppelspath erheblich von einander getrennten Bilder drei Systeme von Farbenstreifen, deren eines der Mitte des Schattens (der Mitte des zwischen beiden Oeffnungen liegenden Theils der Kupferplatte) entspricht, die beiden andern aber sich an beiden Seiten befinden.

Die Entstehung dieser Streifen läfst sich im gewöhnlichen Bilde auf folgende Weise erklären und die Entstehung im ungewöhnlichen Bilde ist dann auch leicht zu verstehn. Durch beide Oeffnungen gehn gleich polarisirte Strahlen, deren jeder durch die Gypsplatte in zwei entgegengesetzt polarisirte zerlegt wird, aber wegen der geringen Dicke der Platte so, dafs ihre Wege gleich und nur ihre Geschwindigkeiten verschieden sind. Jeder der zwei Strahlen, welche hiernach der einen Oeffnung angehören, wird durch den Kalkspath aufs neue gespalten und stellt zwei gewöhnlich gebrochene und zwei ungewöhnlich gebrochene Strahlen dar, die jedoch dem Auge nur als zwei kenntlich sind, weil die zwei aus der Gypsplatte hervorgehenden so nahe an einander liegen, dafs ihre im Doppelspath gewöhnlich gebrochenen Theile zusammenfallen und ebenso die ungewöhnlich gebrochenen. Nach der vorausgesetzten Stellung des Doppelspaths, dessen Hauptschnitt um 45° geneigt gegen die beiden Polarisations-Ebenen der aus dem Gyps hervorgehenden Strahlen seyn sollte, enthält (indem wir blofs von *einer* Oeffnung reden) der im Kalkspath gewöhnlich gebrochene Strahl die Hälfte jedes der beiden aus dem Gyps hervorgehenden Strahlen, oder er besteht aus einem Antheile, der in beiden Körpern gewöhnlich gebrochen, und aus einem gleichen Antheile, der im ersten Körper ungewöhnlich und im zweiten gewöhnlich gebrochen ist. Die Betrachtung für die ungewöhnlich gebrochen zum Auge gelangenden Strahlen derselben Oeffnung und für die Strahlen der andern Oeffnung wird ebenso angestellt. Es ist offenbar, dafs die durch die erste und durch die zweite Spalte gehenden und in beiden Körpern gewöhnlich gebrochenen Strahlen gleiche Wege mit gleichen Geschwindigkeiten durchlaufen und daher die Interferenz-Erscheinungen in der Mitte des zwischen den Oeffnungen liegenden Schattens hervorbringen müssen und dafs auch die durch beide Oeffnunnungen gehenden und in beiden Körpern ungewöhnlich gebrochenen Strahlen eben solche Farben in der Mitte geben müssen. Das in der Mitte beobachtete System von Farben-

streifen entsteht also durch diese sich mit einander vereinigenden Einwirkungen der beiden ebengenannten Paare von Strahlen. Betrachten wir jetzt den aus der einen Oeffnung zum Auge gelangenden, zwar im letzten Krystalle gewöhnlich gebrochenen Strahl, der aber in der Gypsplatte die ungewöhnliche Brechung erlitten hatte, so hat dieser zwar gleiche Wege mit dem immer gewöhnlich gebrochenen durchlaufen, aber mit einer innerhalb der Gypsplatte etwas verschiedenen Geschwindigkeit. Die in dieser Hinsicht ungleichen aus beiden Oeffnungen ausgegangenen Strahlen können daher nicht in der Mitte des Schattens mit gleichen Phasen der Undulationen zusammentreffen, sondern der mit etwas langsamerer Bewegung in der Gypsplatte ein wenig zurückgebliebene, ungewöhnlich gebrochene Strahl bedarf eines etwas kürzern Wegs, um mit dem andern in gleichen Phasen zusammenzutreffen, und so entstehn Farbenstreifen an der einen Seite. Dafs dasselbe an der andern Seite durch den dort ungewöhnlich und nachher gewöhnlich gebrochenen Strahl eintritt, weil er mit dem immer gewöhnlich gebrochenen Strahle der ersten Seite zusammentrifft, ist einleuchtend. Bei den Strahlen, welche zuletzt ungewöhnlich gebrochen hervorgehn, lassen sich dieselben Schlüsse anwenden.

Hier also ist es richtig, dafs da, wo die nach dem Durchgange durch die Gypsplatte entgegengesetzt polarisirten Strahlen ihren Ursprung einem primitiv gleich polarisirten Strahle verdanken, sie nach der Zurückführung auf eine gleiche Polarisation zum Interferiren fähig sind[1].

59. Zu diesen Gesetzen kommt endlich noch das, welches das Verlorengehn einer halben Undulation in gewissen Fällen bestimmt. Arago und Fresnel wiederholten den vorigen Versuch mit der Abänderung, dafs sie statt des hinreichend dicken Kalkspaths ein zweites dünnes Gypsblättchen anwandten. In diesem Falle gingen keine zwei getrennten Bilder hervor, sondern diese waren einander bis zum Zusammenfallen nahe gerückt, und man hätte nun erwarten sollen, dafs die drei Systeme von Farbenstreifen in *jedem* der beiden Bilder jetzt nothwendig drei Systeme von Farbenstreifen in dem *einzigen* Bilde ergeben würden; aber es zeigt sich blofs

1 Ann. de Ch. et Ph. X. 303.

das mittlere dieser drei Systeme. Dieses läfst sich nur dadurch erklären, dafs man annimmt, es gehe im einen oder andern Falle eine halbe Undulation verloren für die beiden auf einander fallenden, an derselben Seite liegenden Systeme. Ist nämlich in Beziehung auf das rechts liegende System der Farbenränder des gewöhnlich gebrochen aus dem dickeren Krystalle hervorgehenden Strahls die Undulationsphase genau um eine halbe Undulation vor der Phase voraus, die bei gleichen Wegen den Strahlen zukommt, welche im ungewöhnlich hervorgehenden Strahle die Farbenränder rechts bilden, so müssen ja beim Zusammenfallen dieser Ränder, weil Strahlen in immerfort entgegengesetzten Phasen zusammentreffen, alle hier sonst wahrzunehmende Interferenz-Erscheinungen aufhören.

Wir werden von diesem Gesetze in der Folge bei den durch Depolarisirung entstehenden Farbenringen Gebrauch machen müssen und die Ursache dieses Verlorengehens einer halben Undulation noch näher kennen lernen. Alle diese Untersuchungen scheinen bis jetzt einzig von Arago und Fresnel angestellt worden zu seyn, und je schwieriger es ist, diese Versuche so anzustellen, dafs sie völlige Ueberzeugung gewähren, desto mehr wäre es zu wünschen, dafs sie von andern wiederholt würden. Indefs finden die angegebenen Gesetze mehrere indirecte Bestätigungen in den noch ferner anzuführenden Erscheinungen.

VI. Farben-Erscheinungen durch Depolarisation des Lichts in dünnen krystallisirten Körpern.

60. Aus zahlreichen frühern Versuchen war es bekannt, dafs ein polarisirter Strahl depolarisirt werde, wenn er durch einen doppelt brechenden Körper geht, dessen Hauptschnitt weder mit der Ebene, in welcher der Strahl polarisirt war, parallel, noch auf dieselbe senkrecht ist. Diese Depolarisirung zeigt sich, wenn man den polarisirten Strahl auf eine so gestellte Turmalinplatte, dafs er nicht durchging, hat auffallen lassen und ihn dann, ehe er die Turmalinplatte erreicht, durch einen Doppelspath gehn läfst; der Gegenstand, von dem der polarisirte Strahl ausging, war dem durch den

Turmalin blickenden Auge unsichtbar gewesen, und tritt deutlich hervor, wenn der Doppelspath in einer schiefen Stellung seines Hauptschnitts gegen die Polarisations-Ebene den Strahl auffängt, ehe er den Turmalin erreichte. Ebenso zeigt sich das Bild in dem Spiegel, welcher den polarisirten Strahl nicht zurückwarf, auch das zweite Bild in einem doppelt brechenden Körper zeigt sich wieder, wenn ein Doppelspath oder ein anderer doppelt brechender Körper den Strahl depolarisirte, und diese anscheinende Depolarisirung besteht darin, daſs der Lichtstrahl zwar seine vorige Polarisation verliert, dagegen aber von dem doppelt brechenden Körper in zwei anders polarisirte Strahlen gespalten wird.

Aber so leicht diese Erscheinungen sich erklären lassen, so schien doch Arago's Entdeckung, daſs diese Depolarisirung unter gewissen Umständen *farbige* Bilder gebe, gänzlich unerwartet. Arago bemerkte[1] nämlich, wenn ein polarisirter Lichtstrahl durch einen Doppelspath, dessen Hauptschnitt der Polarisations-Ebene parallel war, zum Auge gelangte, daſs nicht bloſs zwei Bilder wieder sichtbar werden, wenn ein Glimmerblättchen den polarisirten Strahl auffängt, sondern daſs auch *diese* beiden Bilder farbig und allemal das eine mit der *Farbe*, die dem andern als Ergänzungsfarbe zugehört, erscheinen.

Um den Versuch zu machen, stellt man das Auge so, daſs es einen von weiſsen Wolken ausgehenden und unter dem Polarisationswinkel von einem unbelegten Glase zurückgeworfenen Strahl empfängt. Hält man nun einen Doppelspath vor das Auge, dessen vom Auge abgekehrte Seite mit einer undurchsichtigen, nur durch eine kleine Oeffnung den Strahl zulassenden Platte bedeckt ist, so sieht man in den meisten Stellungen des Doppelspaths ein doppeltes Bild dieser Oeffnung; aber wenn der Hauptschnitt des Krystalls mit der Polarisations-Ebene des auffallenden Strahls zusammenfällt oder auch gegen diese senkrecht ist, so erscheint nur *ein* Bild, weil im ersten Falle alle Strahlen der gewöhnlichen Brechung folgen, im andern Falle alle der ungewöhnlichen Brechung.

---

1 *Mém.* de l'Inst. de France. XII. 1. und G. XL. 145. Auch Brewster hat diese Erscheinungen unabhängig von Arago entdeckt. Treatise on philos. Instrum. by Brewster. p. 336.

Will man die Wirkung des Glimmerblättchens beobachten, so wählt man eine dieser beiden Stellungen des Doppelspaths, ich will annehmen diejenige, bei welcher das ungewöhnliche Bild verschwunden ist, man bringt dann die Glimmertafel in den polarisirten Strahl, so dafs sie senkrecht, und ehe der Strahl den Doppelspath erreicht, von demselben getroffen wird, und nun sieht man das ungewöhnliche Bild wieder hervortreten und beide Bilder zeigen sich gefärbt. Diese Färbung ist desto unerwarteter, da nicht allein das Glimmerblättchen für sich allein, selbst im polarisirten Strahle, ganz ungefärbt erscheint, sondern auch hinter den Doppelspath gehalten keine gefärbten Doppelbilder hervorbringt, wenn das auffallende Licht unpolarisirtes Licht ist. Eben diese Eigenschaft, fast in allen Lagen das doppelte Bild farbig herzustellen, bemerkte schon Arago auch am Marienglase, welches selbst in sehr unvollkommenen Stücken die Färbung der Bilder sehr gut zeigt; aber besser zu regelmäfsigen Versuchen ist der blätterige Gyps (schwefelsaurer Kalk), der sich sehr leicht in dünne Blättchen von erheblicher Gröfse und überall gleicher Dicke zerspalten läfst und dabei sehr schön durchsichtig und farbenlos ist. Mit ihm sind die meisten Versuche, namentlich die von Biot, angestellt worden.

61. Wenn der polarisirte Strahl bei der angegebenen Anordnung des Versuchs die Gypsplatte senkrecht trifft, so bemerkt man erstlich, dafs dieselbe Gypsplatte immer dieselben Farben, aber nicht in jeder Stellung mit gleicher Intensität, giebt, und zweitens, dafs verschiedene Gypsplatten ungleiche Farben zeigen, die von der Dicke der Gypsplatte abhängen. Um die Umstände näher kennen zu lernen, von welchen beide Verschiedenheiten abhängen, kann man den Versuch entweder mit dem Doppelspath anstellen, oder mit einem zweiten auf den Polarisationswinkel gestellten Spiegel. Für den letztern Versuch dient das schon erwähnte (nr. 9.) Polarisations-Instrument, welches zu diesen Versuchen noch mit einem zwischen beiden Spiegeln angebrachten Kreise versehn ist, um auf diesen die Gypsplatte zu befestigen und ihr sowohl in der gegen den Strahl senkrechten Ebene eine Drehung, als auch gegen diese Ebene eine verschiedene Neigung ertheilen zu können. Die zwei Spiegel dieses Instruments nehmen wir hier immer als beide auf den Polarisationswinkel gestellt an.

Es ist aus dem Vorigen bekannt, dafs hier der zweite Spiegel den durch den ersten Spiegel polarisirten Strahl zurückwirft, wenn die Reflexions-Ebenen beider Spiegel zusammenfallen, und dafs er ihn nicht zurückwirft, wenn die Reflexions-Ebenen auf einander senkrecht sind; der Kürze wegen will ich die Stellung des zweiten Spiegels, bei welcher jenes statt findet, die Drehung auf 0°, diejenige, wobei das zweite statt findet, die Drehung auf 90° oder die gekreuzte Stellung der Spiegel nennen. So wie durch die Gypsplatte, wenn sie den polarisirten Strahl auffängt, das zweite Bild im Doppelspath hergestellt wird, ebenso wird im zweiten Spiegel das Bild des bei 90° Drehung unsichtbar gewordenen Gegenstandes wieder hell, und erscheint farbig, wenn man in dem Zwischenraume zwischen beiden Spiegeln den polarisirten Strahl durch die Gypsplatte gehn läfst, und es erscheint hier dieselbe Farbe, mit welcher das *ungewöhnliche* Bild im Doppelspathe sich zeigt; bringt man dagegen den zweiten Spiegel auf 0°, so sieht man hier den durch zweimalige Abspiegelung dargestellten hellen und an sich farbenlosen Gegenstand (weifse Wolken zum Beispiel) mit der Ergänzungsfarbe zu der eben beobachteten oder so gefärbt, wie das *gewöhnliche* Bild im Doppelspathe gefärbt war. Das also erhellt deutlich, dafs durch die Depolarisirung, welche der Gyps bewirkt, gewisse Farbenstrahlen fähig werden, im Doppelspathe, dessen Hauptschnitt mit der Polarisations-Ebene des Strahls zusammenfällt, in das ungewöhnliche Bild überzugehn, und indem sie so dem gewöhnlichen Bilde entzogen werden, lassen sie diesem nur die Ergänzungsfarben oder wenigstens ein starkes Uebergewicht dieser Farben; ebenso ertheilt die Gypsplatte eben jenen Farbenstrahlen die Fähigkeit wieder, aus dem zweiten auf 90° gestellten Spiegel zurückgeworfen zu werden, und da diese dem bei der Stellung auf 0° hervorgehenden Bilde entzogen werden, so mufs sich da das Bild mit der zu der vorigen gehörenden Ergänzungsfarbe zeigen [1].

62. Aber obgleich im Allgemeinen die Gypsplatte diese Depolarisirung bewirkt, so giebt es doch, wenn der polarisirte Strahl sie immer senkrecht trifft, zwei Stellungen der Gyps-

1 Auch Eisplatten sind hierzu tauglich. Mém. de l'Inst. de France. XIII. 54. Förstemann's Beob. in G. LXXVI. 76.

platte, wobei sie diese Eigenschaft nicht zeigt. Ich will bei dem Versuche mit zwei Spiegeln stehn bleiben, da die Anwendung auf den Versuch mit dem Doppelspathe dann von selbst erhellt. Man lege also eine dünne Gypsplatte in die Mitte zwischen beiden Spiegeln des Polarisations-Instruments, senkrecht gegen die Richtung des Strahls, und drehe sie in ihrer eigenen Ebene, so wird man bei einer gewissen Stellung derselben das bei der Drehung auf 90° im zweiten Spiegel hervorgegangene Bild sich gänzlich verdunkeln sehn, und bei derselben Lage der Gypsplatte zeigt sich das Bild in dem auf 0° gestellten Spiegel weifs; auch bei allen übrigen Stellungen, die der zweite Spiegel durch die Drehung erlangt, ist alles so, wie es ohne die Gypsplatte gewesen wäre. In dieser Lage hat also die Gypsplatte die Polarisirung des vom ersten Spiegel kommenden Strahls nicht geändert, und wenn man die Linie der Gypsplatte bemerkt, die dann in der Reflexions-Ebene liegt, so zeigt sich, dafs immer, wenn diese Linie zu derselben Lage zurückgebracht wird, aber auch wenn sie senkrecht gegen die Polarisations-Ebene des Strahls ist, dieselbe ungeänderte Polarisirung statt findet. Läfst man die Gypsplatte nach und nach die verschiedenen Stellungen, die sie, in ihrer eignen Ebene gedreht, erhalten kann, annehmen, so findet man, dafs die Helligkeit des farbigen Bildes im zweiten auf 90° gestellten Spiegel zunimmt, bis die Gypsplatte um 45° von jenen vier Stellungen (bei welchen die angegebene Linie 0°, 90°, 180°, 270° mit der ersten Reflexions-Ebene macht) entfernt ist. Die Lage der Linie, welche die Eigenschaft hat, mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene parallel oder gegen sie senkrecht gestellt die Polarisation des Strahls nicht zu ändern, hat BIOT[1] genau bestimmt. Er sah sie als die Axe doppelter Brechung der Gypskrystalle an, aber BREWSTER hat gezeigt, dafs diese Krystalle zwei-axig sind und jene Linie den Winkel, den beide Axen mit einander bilden, halbirt. Diese Linie können wir indefs, um sie hier bequem zu bezeichnen, den *Hauptschnitt* der Krystalle der Gypsplatte nennen.

---

1 Traité IV. 320. Diesen Hauptschnitt findet man unter 16¼° geneigt gegen eine Seite der schiefen Parallelogramme, in welche das Blättchen sich theilt.

Um zuerst die Abhängigkeit der Farben-Erscheinung von der Lage dieses Hauptschnitts vollkommen kennen zu lernen, ist noch folgendes zu bemerken. Wenn man den Hauptschnitt der Gypsplatte den Winkel $= i$ mit der ersten Polarisations-Ebene machen läſst, so erscheint das Bild im zweiten Spiegel farbenlos, sowohl wenn der zweite Spiegel die Drehung $= i$, als wenn er die Drehung $= 90^\circ + i$, $180^\circ + i$, $270^\circ + i$ erreicht. Die Intensität des Lichts dieser farbenlosen Bilder ist *ungleich* bei den um 90° verschiedenen Stellungen, gleich bei den um 180° verschiedenen Stellungen. Dreht man den Spiegel von der Stellung, wo die Bilder farbenlos erschienen, nach der einen Seite, so treten die Farben des ungewöhnlichen Bildes hervor, dreht man ihn nach der andern Seite, so treten die Farben, die im Doppelspathe dem gewöhnlichen Bilde gehören, hervor, und erreichen gleich weit von jener Stellung ihre gröſste Lebhaftigkeit.

Diese verschiedenen Erscheinungen bewogen Biot die Ansicht zu fassen, daſs man die Lichttheilchen so betrachten könne, als ob ein Theil derselben, deren Farbe durch O bezeichnet werden mag, in der vorigen Polarisation bleibt, der übrige Theil $= E$, zu welchem jenes die Ergänzungsfarbe ist, *in einer* neuen Richtung, um $2i$ von jener abweichend, polarisirt ist. Steht nun der Spiegel in der Drehung $= i + x$, so wirft er ein gemischtes Licht

$$= O. \operatorname{Cos.}^2 (i + x) + E. \operatorname{Cos.}^2 [2i - (i + x)]$$
$$= O. \operatorname{Cos.}^2 (i + x) + E. \operatorname{Cos.}^2 (i - x)$$

zurück[1]. Für $x = o$ oder wenn die Drehungsstellung des Spiegels mit der Lage der Axe des Gypskrystalles übereinstimmt, geht dieses in

$$(O + E) \operatorname{Cos.}^2 i \text{ über}$$

und für $x = 90^\circ$ in

$$(O + E) \operatorname{Sin.}^2 i.$$

Diese beiden gemischten Strahlen sind farbenlos, weil $O + E$ zusammen weiſs geben, indem O die Ergänzungsfarbe zu E ist, und im Allgemeinen ist die Intensität des bei der Stellung i und bei der Stellung $90^\circ + i$ aus dem Spiegel reflectirten Lichts ungleich, wenn Sin. i. nicht = Cos. i. ist. Für $i = 45^\circ$ sind beide gleich.

---

1 S. oben nr. 16.

Hat x einen andern Werth, so ist jene Lichtmischung durch

$$(O + E)\,(\text{Cos.}^2\,i.\ \text{Cos.}^2\,x + \text{Sin.}^2\,i.\ \text{Sin.}^2\,x)$$
$$+ (E - O)\ 2\ \text{Sin.}\,i.\ \text{Cos.}\,i.\ \text{Sin.}\,x.\ \text{Cos.}\,x$$ bestimmt.

Der erste Theil dieses Ausdrucks bezeichnet wieder ein Weiſs von anderer Intensität; der zweite Theil, welcher auch $= (E - O)\ \text{Sin.}\,i.\ \text{Cos.}\,i.\ \text{Sin.}\,2x$ ist, wird für $x = 45°$ am gröſsten, und da dann das erste Glied am kleinsten wird, also die Beimischung von Weiſs am kleinsten ist, so muſs bei der Drehung $= i + 45°$ die eine, bei der Drehung $= i - 45°$ die andere der beiden Ergänzungsfarben am lebhaftesten hervortreten. Dieſs ist auch wirklich der Fall. Bei $i = 45°$ treten in dem Falle, da auch $x = 45°$ ist, die Farben O und E ganz rein hervor, jene bei $i + x = 0$, diese bei $i - x = 0$.

63. Biot's wichtigste Untersuchungen[1] betreffen die Frage, wie die hervorgehende Farbe von der Dicke der Blättchen abhängt. Schon die oberflächlichste Aufmerksamkeit reicht hin, um zu bemerken, daſs eine nicht überall gleich dicke Gypsplatte ungleiche Farben zeigt und daſs da, wo sichtbar eine verschiedene Dicke anfängt, auch die Farbe scharf abgeschnitten eine andere ist; Biot hat die einer jeden Farbe zugehörende Dicke genau bestimmt, wozu er sich eines diese Dicke mit der gröſsten Schärfe messenden Instruments[2], des Sphärometers, bediente. Um die Farben besser zu vergleichen, als es geschehn kann, wenn man mehrere Platten eine nach der andern untersucht, stellte er den Versuch auf etwas andere Art und so an, daſs die Farben der neben einander liegenden Platten mit einem Blicke übersehn und verglichen werden konnten, indem sich dann besser das Urtheil, ob man die Farbe mit einer Farbe des einen oder des andern Newton'schen Farbenringes glaube vergleichen zu können, fällen lieſs.

64. Die Vergleichung mit diesen Newton'schen Farbenringen[3] ist es nämlich, welche sich hier als ungemein wichtig zeigt. Denn so wie bei diesen Farbenringen der Abstand der beiden das Licht zurückwerfenden Flächen ganz streng

---

1 Biot Traité IV. 344. und Mém. de l'Inst. de France. XII. 135. XIII. 1.

2 S. Art. *Sphaerometer*.

3 Vergl. Art. *Anwandelungen*.

die Farben in den durch Zurückwerfung sichtbar werdenden Ringen bestimmt und die Newton'sche Tafel [1] die jeder Farbe der verschiednen Ordnungen zugehörigen Zwischenräume angiebt, ebenso bestimmt dieselbe Tafel die Verhältnisse der Dicken, welche die verschiedenen Gypsplatten haben müssen, um gewisse Farben zu zeigen. Biot fand, dafs die Dicke von 36,5 Theilen seines Sphärometers, die 0,0824 Millimeter ausmachten, diejenige sey, wobei das Gypsblättchen im ungewöhnlichen Bilde das schöne Blau der zweiten Ordnung zeigte, welchem in der Newtons'chen Scale die Zahl 14 zugehört, und alle Versuche stimmten dahin überein, dafs der Dicke x in Theilen des Sphärometers diejenige Farbe zugehörte, die neben der Zahl $= \frac{14.x}{36,5}$ in der Newton'schen Tafel steht. Für homogenes Licht würde also das Violett der ersten Ordnung bei der Dicke $x = \frac{4.36,5}{14} = 10,43$, das Violett der zweiten Ordnung bei $x = \frac{12.36,5}{14} = 31,29$, das Violett der dritten Ordnung bei $x = 52,1$ am lebhaftesten hervortreten; bei Platten von der Dicke $= 42$ könnte dagegen im einfachen violetten Lichte keine Färbung erscheinen, im weifsen Lichte aber würde sich hier das Gelb der zweiten Ordnung zeigen, indem das einfache gelbe Licht bei $x = \frac{16,3.36,5}{14} = 42,5$ am vollkommensten sich darstellt, wie die Tafel S. 312 im Art. *Anwandelungen* zeigt.

Dieser Regel gemäfs sind also für irgend einen homogenen Farbenstrahl die Dicken 1.e, 3.e, 5.e, 7.e u. s. w. am vollkommensten geeignet, diese Farbe im ungewöhnlichen Bilde darzustellen, wogegen bei den Dicken 2.e, 4.e, 6.e, 8.e die Strahlen dieser Farbe nur im gewöhnlichen Bilde sichtbar sind. Und wenn man eben diese Regel auf einen andern Farbenstrahl anwenden will, so mufs man für e den Werth so abändern, wie es die verhältnifsmäfsige Länge der Anwandelungen oder der Undulationen fordert [2].

---

1 Newt. Opt. Lib. II. Pars. II., welcher für homogenes Licht die Tafel in diesem Wörterb. I. 312. entspricht.

2 Ueber Abweichungen von dieser Regel s. nr. 77.

Wurden mehrere Gypsplatten so auf einander gelegt, dafs ihre etwas rhomboidischen Krystalle einander deckten, oder so, dafs die Linien, welche den Hauptschnitt bezeichneten, parallel waren, so wirkten sie genau so, wie eine Platte, deren Dicke der Summe jener Dicken gleich war. Bediente man sich zuerst *einer* überall gleich dicken Platte und zerspaltete sie dann in mehrere dünne Platten, so ging bei unveränderter Lage eben die Farbe hervor, man mochte nun jene eine angewandt haben, oder die durch Zerspaltung hervorgegangenen alle vereinigt anwenden, um den Strahl durch sie gehn zu lassen [1]. Dagegen wenn man zwei Platten von ungleicher Dicke gekreuzt auf einander legte, so dafs jene Hauptschnitte rechte Winkel mit einander machten, so ging eine Farbe hervor, die genau der Differenz der Dicken entsprach, und es war daher leicht, mit stärkeren Platten, die nur wenig an Dicke verschieden waren, diejenigen glänzenden Farben darzustellen, die zum Beispiel der zweiten Ordnung der Newton'schen Farbenringe entsprechen.

Alle diese Regeln sind durch zahlreiche Abmessungen und durch Berechnung der Zahl in Newton's Tafel, welcher die Farben entsprechen sollten, genau bestätigt worden [2]. Sehr dicke Platten zeigen keine Färbung, so wie es auch ja bekannt ist, dafs die Newton'schen Ringe bei zu grofser Dicke der Luftschichten in Weifs übergehn.

65. Diese bestimmte Abhängigkeit der Farben von der Dicke der Platten hat Biot für mehrere Krystalle untersucht und richtig gefunden. Für Krystalle verschiedener Art ist aber die einer gleichen Farbe entsprechende Dicke ungleich und umgekehrt proportional der Veränderung, welche die doppeltbrechende Kraft des Krystalls in dem Quadrate der Geschwindigkeit des gebrochenen Strahls bei gleicher Lage hervorbringt [3]. Hieraus erklärt es sich, warum man aus Doppelspath keine Platten, der Axe parallel, so dünn, als zu Hervorbringung kenntlicher Farben erforderlich ist, erhalten kann; denn bei dem Doppelspath ist der Coefficient, mit welchem der veränderliche, vom

---

1 Mém. de l'Inst. XIII. 31. 48. 108.

2 Biot Traité IV. 346. 349. 355. 360. 411. 418. und Mém. de l'Inst. de Fr. XII. 135. XIII. 19. Anwendungen zu einem Farbenmesser hat Biot angegeben, s. Art. *Kyanometer*. S. 1371. und van *Beek* in Schweigg. Jahrb. XXXII. 246.

3 Biot IV. 361.

Neigungswinkel des Strahls gegen die Axe doppelter Brechung abhängige Theil des Quadrats der Geschwindigkeit multiplicirt ist, 17,7 mal so grofs als beim Bergkrystall und beim Gyps; die Scheibchen aus Doppelspath müfsten also, wenn sie der Axe parallel seyn sollen, nur $\frac{1}{18}$ der Dicke der Gypsblättchen haben, und diese müssen schon so sehr dünn seyn, um noch Farben zu zeigen[1].

Wenn man zwei Platten verschiedener Art verbindet, so wirken sie, wenn ihre Hauptschnitte parallel sind, so wie es der Summe beider, dagegen, wenn ihre Hauptschnitte auf einander senkrecht sind, so wie es der Differenz beider Dicken gemäfs ist. Um dieses richtig zu verstehn, mufs man sich daran erinnern, dafs es doppelt brechende Krystalle giebt, die wie der Doppelspath den ungewöhnlichen Strahl von der Axe zurückzustofsen scheinen, *negative*, und andere, z. B. den Zircon und Quarz, die den ungewöhnlichen Strahl gegen die Axe heran zu ziehn scheinen, *positive*[2]. Verbindet man zwei der Axe parallel geschnittene Krystallblättchen der einen Art mit parallel gelegten Hauptschnitten, so wirken sie, wie es einer dickeren Platte angemessen ist; verbindet man zwei Krystallblättchen, deren eines zu den negativen, das andere zu den positiven gehört, so wirken sie, bei parallelen Hauptschnitten, wie es einer dünnern Platte angemessen ist. In jenem Falle gehn also die Farben der entferntern, unscheinbaren Ringe, in diesem die Farben der nähern glänzendern Ringe hervor. Beim Kreuzen der Axen unter rechtem Winkel ist es umgekehrt. Dafs man bei der Bestimmung der Farben aus den gemessenen Dicken, wenn ungleichartige Blättchen angewandt werden, diese ungleiche Wirksamkeit auch dem Grade nach berücksichtigen mufs, versteht sich von selbst[3].

66. Dieses genaue Uebereinstimmen mit den Anwandelun-

---

1 Mém. de l'Inst. XIII. Part II. p. 7.

2 Vgl. Art. *Brechung*. S. 1185. Die negativen sind diejenigen, in welchen der gewöhnlich gebrochene Strahl oder der, dessen Vibrationen gegen die Axe senkrecht sind, nach der Undulationstheorie, der langsamer fortgepflanzte ist; in den positiven Krystallen ist der ungewöhnliche Strahl, dessen Vibrationen in der durch ihn und die Axe gehenden Ebene liegen, der langsamere.

3 Biot's dieses beweisende Versuche sind hier freilich mit zweiaxigen Krystallen angestellt. Biot. IV. 423. Mém. de l'Inst. XIII. Part. II. p. 23.

gen führte Biot zu einer Theorie, die ich hier, da sie sich gegen die von mehreren Seiten gemachten Einwürfe schwerlich vertheidigen läſst, nur kurz erklären will. Gewiſs wird jeder den Scharfsinn, mit welchem diese Theorie durchgeführt ist, anerkennen, und das Verdienst dessen, der sie aufstellte, nicht zu sehr herabsetzen, weil sie mit spätern Entdeckungen nicht übereinstimmt. Die von Biot so genannte *polarisation mobile* ist es, welche ihm zur Erklärung dieser Erscheinungen dient. Nach seiner Ansicht haben nämlich die durch einen dickern Krystall durchgegangenen Lichttheilchen eine *polarisation fixe* erreicht, das ist, die Axen der Lichttheilchen behalten unverändert ihre Lage gegen die Polarisations-Ebene; aber, ehe sie zu dieser gelangen, machen die Lichttheilchen, indem sie in einen doppelt brechenden Körper eintreten, Oscillationen, und wenn der brechende Körper eine sehr dünne Schicht bildet, so treten sie wieder aus, ohne zur *polarisation fixe* gelangt zu seyn. Wir finden daher den durch eine so dünne Platte durchgegangenen, im polarisirten Zustande eingetretenen Strahl in einem ungleichen Zustande der Polarisation, jenachdem er eine gröſsere oder geringere Dicke durchlaufen hat. Um den Gegenstand auf die einfachste Weise zu übersehn, wollen wir uns einen Strahl homogenen oder einfarbigen Lichts denken, um für jetzt auf die bei verschiedenen Farben ungleiche Länge der Anwandelungen nicht Rücksicht nehmen zu dürfen. Die Lichttheilchen, aus denen er besteht, hatten eine feste Polarisation, als sie eintraten; aber wenn jener Hauptschnitt der Gypsschicht einen Winkel $= i$ mit dieser ursprünglichen Polarisations-Ebene macht, so fangen die Lichttheilchen Oscillationen an, wodurch sie beim Eindringen bis zu einer Tiefe $= e$ eine neue Polarisation, deren Ebene um den Winkel $= 2.i.$ gegen die vorige geneigt ist, erlangen. Bei der Tiefe $= 2e$ sind sie zu der ursprünglichen Polarisation, bei der Tiefe $= 3e$ zu der neuen Polarisation unter dem Winkel $= 2.i$ zurückgekehrt u.s.w. Findet also der Austritt statt, wenn die Länge des Wegs in der Platte $= 2.e, = 4.e, = 6.e$ ist, so zeigt sich dieser Strahl in seiner ursprünglichen Polarisation, das heiſst, er wird aus dem zweiten Spiegel, den ich hier immer auf 90° gestellt annehme, nicht zurückgeworfen; ist hingegen die Dicke der Platte $= e$ oder $= 3.e, = 5.e, = 7.e$, so finden wir das Theilchen in

der dem Winkel $=2.i$ entsprechenden Polarisation, und von diesen Theilchen gehn daher viele als zurückgeworfen aus jenem Spiegel hervor. Diese Veränderung der Polarisation ist am wirksamsten, wenn $i=45^\circ$ ist, indem dann bei vollendeter Oscillation die senkrecht gegen die vorige Polarisations-Ebene polarisirten Theilchen am vollkommensten von dem Spiegel, dessen Reflexions-Ebene dieser Polarisations-Ebene entspricht, zurückgeworfen werden.

Ein einfarbiger Strahl würde also bei den Dicken e, 3e, 5e, 7e sich in dem auf 90° gestellten Spiegel zeigen, bei den Dicken 2e, 4e, 6e, 8e würde dagegen das Bild verdunkelt seyn, und in den letztern Fällen verstärkt dann dieser Strahl das bei der Stellung auf 0° hervorgehende Licht. Dagegen wenn der Lichtstrahl nicht homogen ist, so ist die Dicke $=e$, die für den rothen Strahl die Vollendung einer halben Oscillation bestimmte, nicht mehr genau dem Ende einer halben Oscillation des blauen Strahls entsprechend, und es wird daher bei der Dicke $=2e$, $4e$, $6e$, wo jener rothe Strahl sich der Zurückwerfung entzieht, irgend ein anderer Farbenstrahl oder vielmehr eine Mischung von Farbenstrahlen der Zurückwerfung aus dem auf 90° gestellten Spiegel fähig seyn. Wenn man dieselben Rechnungen, welche man bei den Anwandelungen führen muſs, um die wegen Ungleichheit der Länge der Anwandelungen einer jeden Dicke der Luftschicht entsprechende Farbe in den Farbenringen zu finden, hier anwendet, so erhält man offenbar, nach dem Maſse der Dicke der Platten fortschreitend, eben den Fortgang der Farben, und diese Oscillationen scheinen daher die Phänomene, so weit sie von der Dicke der Platten abhängen, vollkommen darzustellen.

67. Gegen diese Theorie der beweglichen Polarisation macht Herschel einen sehr wichtigen Einwurf, daſs nämlich die Grenze, wo, und der Grund, warum diese bewegliche Polarisation endlich in die feste Polarisation übergehe, nicht bestimmt sey. Bei einem Eindringen in sehr dünne Schichten bringen die Oscillationen immer wechselnd die Polarisation auf 0 und auf $2i$ hervor, bei groſser Dicke des Krystalls dagegen ist der Strahl in zwei gespalten, für deren einen die Polarisations-Ebene dem Winkel $=i$, für den andern dem Winkel $=90^\circ+i$ entspricht; nach jenen Bestimmungen erhellt aber nicht, daſs etwa die Oscillationen immer geringer würden und

endlich sich in der Mitte endigten, sondern es ist nichts angegeben, wodurch diese feste Polarisation sich an die bewegliche anschlösse[1]. —

Ein zweiter Einwurf, den Biot sich selbst gemacht hat, aber ihn zu beseitigen glaubt[2], ist der, dafs wir nach dem Hervorgehn die Theilchen so wieder finden, als ob sie immer die letzte Oscillation vollendet hätten, dafs wir sie nie in einem Mittelzustande zwischen 0 und 2i finden, sondern sprungweise von 0 auf 2.i und von 2.i auf 0 übergehend. Dieser Einwurf ist desto schwerer zu beseitigen, da sich bei einem zerspaltenen Blättchen, dessen nach einander wirkende Theile genau den Erfolg hervorbringen, wie ein unzerspaltenes Blättchen, dessen Dicke der Summe der Dicken jener gleich ist, nicht einsehn läfst, wie diese Gleichheit erhalten werde.

Einwürfe andrer Art von Fresnel und Arago verursachten einen nicht ohne Bitterkeit geführten Streit, den ich lieber ganz übergehe[3], zumal da die eine Hauptsache, dafs die Strahlen bald in der ursprünglichen Richtung, bald in 2i polarisirt sind, hier bestritten ward und nachher von Fresnel selbst als richtig anerkannt worden ist.

68. Wichtig dagegen ist die in eben jenem Berichte Arago's, der zu dem Streite Anlafs gab, über Fresnel's Erklärung dieser Farben-Erscheinungen mitgetheilte Nachricht, die indefs später von Fresnel selbst noch ausführlicher dargestellt worden ist[4].

Schon Young hatte sogleich, nachdem Biot's Versuche bekannt geworden waren, die Bemerkung ausgesprochen, dafs auch hier alles auf die Differenz der durchlaufenen Wege ankomme, aber eine eigentliche Erklärung hat Fresnel zuerst gegeben. Dieser geht von der Voraussetzung aus, deren Richtigkeit man wohl gewifs zugestehn mufs, dafs auch im dünnen Gypsblättchen der polarisirt auffallende Strahl in allen

---

1 Dafs Biot selbst diesen Mangel einer sichern Nachweisung des Zusammenhanges beider Polarisationen empfand, zeigt er Ann. de Ch. et Ph. XVII. 253.

2 Traité IV. 401.

3 S. vorzügl. Ann. de Ch. et Ph. XVII. 80. 102. 167. 225. 249. 250. 267.

4 Ann. de Ch. et Ph. XVII. 94. und XLVI. Poggend. XXIII. 392.

Fällen, wenn nicht die Polarisations-Ebene mit dem Hauptschnitte zusammenfällt oder darauf senkrecht ist, in zwei entgegengesetzt polarisirte Strahlen zerlegt wird. Diese Strahlen, welche, der eine die gewöhnliche, der andere die ungewöhnliche Brechung erlitten haben, sind bei so dünnen Blättchen nach dem Hervorgehn nicht so getrennt, dafs man sie einzeln wahrnehmen könnte, aber da sie den Weg im Innern des Blättchens mit ungleichen Geschwindigkeiten durchlaufen haben, so ist, der Gleichheit der Wege ungeachtet, auf eine Verschiedenheit in den Undulationen Rücksicht zu nehmen. Diese Verschiedenheit bringt jedoch nichts von Interferenzen hervor, wenn der Strahl einzig durch die Glimmerplatte oder Gypsplatte gegangen ist, denn die auf einander senkrecht polarisirten Strahlen zeigen keine Wirkung auf einander; deshalb sieht man weder Farben noch sonst etwas merkwürdiges, wenn der unpolarisirt auffallende oder auch der polarisirt auffallende Strahl nur durch das dünne Blättchen geht. Aber wenn nun dieser doppelte Strahl durch einen Doppelspath geht, so wird er zu einem vierfachen, und unter diesen Strahlen sind zwei nach der einen Richtung und zwei nach der darauf senkrechten Richtung polarisirt, so dafs je zwei gegenseitig auf einander einwirken können. Bleiben wir bei einem dieser Paare stehn, so ist der eine schon in dem Blättchen gewöhnlich gebrochen und nun auch im Doppelspathe gewöhnlich gebrochen, der andere war dort ungewöhnlich gebrochen und ist erst hier in das gewöhnlich gebrochene Bild übergegangen; diese beiden jetzt gewöhnlich gebrochenen Strahlen sind also anzusehn, als ob sie etwas ungleiche Wege durchlaufen hätten, indem der eine bei dem Durchgange durch das Blättchen um einen Theil einer Undulation, oder um eine ganze Undulation oder mehr, dem andern vorausgekommen ist. Denken wir nun zunächst nur an einen homogenen Farbenstrahl, so wird nach Mafsgabe der Dicke des Blättchens der Fall eintreten können, dafs beide Strahlen um eine halbe Undulation oder um eine ganze Undulation verschieden sind, dafs sie also sich entweder gegenseitig zerstören oder sich gegenseitig verstärken; in jenem Falle tritt die Farbe in dem zuletzt als gewöhnlich gebrochen hervorgehenden Strahle nicht hervor, in diesem Falle hingegen zeigt sich der Strahl in seinem gefärbten Lichte. Ist das Licht aus mehreren Farbenstrahlen gemischt oder ist es

weifs, so gilt die Verstärkung des Lichts für die Farbenstrahlen, für welche die Undulationen um eine ganze Undulationslänge verschieden sind oder wo die Verschiedenheit wenigstens nahe so grofs ist, und es erhellt leicht, dafs genau wie bei den Newton'schen Farbenringen die hervorgehenden Farben sich nach der Dicke der Blättchen richten müssen, nur dafs hier eine viel gröfsere Dicke der Blättchen nöthig ist, als dort, weil das Voraueilen des einen Strahls vor dem andern, selbst in einer sehr merklichen Dicke des Blättchens, nur erst eine halbe Undulation beträgt und offenbar die Blättchen desto dicker seyn müssen zu Bewirkung eines gleichen Erfolgs, je geringer der Unterschied der Geschwindigkeit des gewöhnlich und des ungewöhnlich gebrochenen Strahls in dem als dünnes Blättchen angewandten Körper ist.

69. Hiermit ist die Färbung des Strahls oder das Hervortreten der einen Farbe aus dem weifsen Strahle, während eine andere Farbe (deren Undulationslänge gerade so ist, dafs die beiden Strahlen um eine halbe Undulationslänge oder drei halbe Undulationslängen u. s. w. verschieden sind) unterdrückt ist, völlig erklärt; aber es scheint, dafs dieselbe Schlufsfolge auch auf den zweiten Doppelstrahl passe und dafs auch dieser *dieselbe* Farbe zeigen müsse, statt dafs die Erfahrung ihn als die Ergänzungsfarbe zeigend angiebt. Der nach dem Durchgange durch beide Krystalle als ungewöhnlich gebrochen hervortretende Strahl ist nämlich ebenso gut aus zwei Strahlen hervorgegangen, deren einer schon in dem Gypsblättchen ungewöhnlich, der andre dagegen dort gewöhnlich gebrochen war. Bei ihnen findet dieselbe Differenz der Geschwindigkeiten statt und folglich sollte dieselbe Differenz der Undulationen eintreten; aber hier zeigt sich nun, dafs im einen Falle eine genaue halbe Undulation verloren geht und deshalb die Ergänzungsfarbe zu derjenigen gesehn wird, die sich im andern Falle zeigt. Läfst sich dieser Verlust einer halben Undulation nachweisen, so mufs allerdings gerade diejenige Farbe hier hervortreten, die im andern Strahle unterdrückt ward, diejenige Farbe dagegen hebt sich auf, die vorhin am lebhaftesten war, und so sieht das Auge im einen Strahle die Ergänzungsfarbe zu der im andern Strahle sichtbaren.

Ueber dieses Verlorengehn einer halben Undulation giebt Fresnel folgende seiner ganzen Theorie sehr wohl entspre-

chende Auskunft. Es sey PP′ die Ebene der ursprünglichen Polarisation des Strahls, OO′ der Hauptschnitt des krystallisirten Blättchens, SS′ der Hauptschnitt des Doppelspaths, durch welchen das Auge den Strahl empfängt. Indem nun der in C die Ebene des Papiers senkrecht treffende, nach CP polarisirte Strahl auf die Gypsplatte auffällt, so zerspaltet er sich in zwei Strahlen den gewöhnlich gebrochenen Fo, der nach CO polarisirt ist, den ungewöhnlich gebrochenen Fe, der nach CE′ senkrecht auf CO polarisirt ist. Jeder dieser beiden wird bei dem Durchgange durch den Doppelspath in zwei Strahlen zerlegt und es entstehn daher zwei zuletzt gewöhnlich gebrochene und nach CS oder CS′ polarisirte Strahlen Foo′ und Feo′ und zwei zuletzt ungewöhnlich gebrochene nach CT oder CT′ polarisirte Strahlen Foe′ und Fee′. Was die beiden zuletzt gewöhnlich gebrochenen betrifft, so werden sie durch eine Zerlegung der nach CO, CE′ polarisirten Strahlen hervorgebracht, und indem sie eine Mittelrichtung nach CS erhalten, richten die Interferenzen sich bei ihnen bloſs nach der Differenz der den Wegen gemäſs vollendeten Undulationen; Foe′ und Fee′ dagegen erhalten durch die letzte ungewöhnliche Brechung nicht eine gemeinschaftliche Mittelrichtung, sondern entgegengesetzte Richtungen, indem aus dem nach CO polarisirten Fo der nach CT polarisirte Foe′ entsteht, aus CE′ dagegen der nach CT′ polarisirte Fee′; diese aus CO, CE′ entstandenen Strahlen *vereinigen* sich also nicht, sondern gehn zu gröſserer Trennung, bis sie auf einerlei Ebene gelangen, über, und in diesem Falle muſs man eine halbe Undulation dem zulegen, was die bloſse Differenz der Wege ergeben würde, oder man muſs dem einen Strahle genau den entgegengesetzten Zustand von dem beilegen, welcher den durchlaufenen Wegen angemessen seyn würde. Hiemit scheint also die Erklärung ganz genügend zu seyn. Die Berechnung der Intensität des Lichts in beiden Strahlen muſs ich hier übergehn.

Fig. 93.

Diese Erklärung paſst auch dann noch eben so gut, wenn es nicht eine einzige Platte ist, die eine bestimmte Dicke hat, sondern wenn diese Dicke als Summe mehrerer Plattendicken für Platten mit genau übereinstimmenden Axen hervorgeht. Die Ungleichheit der Undulationsphasen beider Strahlen geht nämlich dann genau ebenso fort, als wenn alle diese Platten fest vereinigt gewesen wären. Aber auch die Erscheinung, daſs

Platten mit gekreuzten Axen (oder so gelegt, dafs der Hauptschnitt der einen senkrecht gegen den Hauptschnitt der andern ist), die Farben zeigen, die der Differenz ihrer Dicken gemäfs sind, folgt hier von selbst. Denn wenn die erste Platte dem einen Strahle eine ganze Undulation Vorsprung gab, die andere, bei halb so grofser Dicke und einer gegen die vorige Stellung senkrechten Richtung des Hauptschnitts, dem andern Strahle eine halbe Undulation, so behält jener offenbar nur die der Differenz der Dicken angemessene halbe Undulation voraus, und darnach richtet sich die Farbe.

70. Aber auch alle andere Umstände sind dieser Undulationstheorie gemäfs, und insbesondre zeigt es sich vollkommen richtig, dafs die Polarisation des durch das Blättchen gegangnen Strahls als der ursprünglichen Polarisations-Ebene gemäfs erscheint, wenn die Voreilung ganze Undulationslängen beträgt, dagegen um 2i davon abweichend, wenn die Voreilung ungerade Hälften einer Undulation ausmacht. Ist nämlich PP′ die ursprüngliche Polarisations-Ebene des in C die Ebene des Papieres senkrecht treffenden Strahls, SS′ der Hauptschnitt des Krystallblättchens, so waren zuerst die Vibrationen auf PP′ senkrecht, und werden zerlegt in Vibrationen senkrecht auf SS′ im gewöhnlich gebrochnen Strahle, parallel mit SS′ im ungewöhnlich gebrochenen Strahle. PCS ist der Winkel, den ich schon früher mit i bezeichnete, und die Vibrationsgeschwindigkeit ist = Cos. i im ersten und = Sin. i im zweiten Strahle, wenn sie in dem ursprünglichen Strahle = 1 war. Sind dann diese beiden Strahlen nach dem Durchgange durch das Blättchen um eine ganze Undulation verschieden, so gehn die Vibrationen zugleich von C nach T im einen, und von C nach S im andern Strahle, wenn sie der von C nach Q gehenden des ursprünglichen Strahls entsprechen; sie verhalten sich also jetzt ganz wieder so, wie vor dem Durchgange, indem aus ihrer Zusammensetzung eine Vibration = 1 nach CQ hervorgeht, und der Strahl ist in seinen Erscheinungen einem nach PP′ polarisirten, nach CQ vibrirenden, gleich. Ist dagegen der eine Strahl um eine halbe Undulation voraus, so ist eine nach CS′ gerichtete Vibration des einen Strahls mit einer nach CT gerichteten des andern verbunden, und jene ist ihrer Gröfse nach durch Sin. i, diese durch Cos. i ausgedrückt; sie verhalten sich daher wie eine aus ihnen resultirende Vibration, die nach CU gerichtet wäre, wenn TCU = i ist, und der Strahl zeigt sich also ganz, als ob

Fig. 93.

seine Polarisations-Ebene um den Winkel $= QCU = 2i$ von der ursprünglichen abwiche. Die Parallelogramme csqt für den ersten und $\gamma\sigma v \tau$ für den zweiten Fall zeigen dieses noch deutlicher, indem γv mit CU parallel ist. Wenn der Unterschied der Wege durch einen andern Bruch ausgedrückt ist, so sind die Vibrationsgeschwindigkeiten beider Strahlen nicht durch den ganzen Verlauf einer Undulation in einerlei Verhältnifs und der Strahl hat daher keine bestimmte geradlinige Polarisation. Für die Differenz gleich dem Viertel einer Undulation würde zum Beispiel die gröfste Bewegung des Theilchens im einen Strahle mit dem anfangenden Rückgange (der Geschwindigkeit $= 0$) des Theilchens im andern Strahle zusammengehören, und wenn für beide Vibrationen die Zeit gleich dem Achtel einer Vibration verflossen wäre, so hätten beide Aethertheilchen gleiche, auf einander senkrechte Geschwindigkeiten, und so fort für alle Phasen der Vibrationen wechselnd. Darum also sind die Erscheinungen nur jenen zwei Zuständen entsprechend, da für die übrigen Differenzen der Wege keine Polarisation hervorgeht [1].

Endlich verdienen einige früher schon erwähnte Fälle hier noch eine kurze Betrachtung. Ist (nr. 62.) $i = 0$ oder $= 90°$, so findet gar keine Zerlegung des ursprünglich polarisirten Strahls im Gypsblättchen statt, und es kommen daher auch aus dem Doppelspath oder aus dem zweiten Spiegel keine zu Interferenzen Veranlassung gebende zwei Strahlen hervor. Hat i irgend einen andern Werth und ist auch des Doppelspaths Hauptschnitt auf denselben Winkel gestellt, so gehn die in der Gypsplatte entstandenen zwei Strahlen auch nur als zwei Strahlen aus dem Doppelspathe hervor und behalten ihre auf einander senkrechten Polarisationen, so dafs sie zur Interferenz ungeschickt sind und weifses Licht geben. Bedient man sich des zweiten Spiegels, der in die Drehung $= i$ gestellt ist, so wirft dieser nur den einen aus dem Gypsblättchen hervorgehenden Strahl zurück, statt dafs bei jeder andern Stellung aus beiden Strahlen ein Antheil in die mit der Reflexions-Ebene übereinstimmende Polarisation übergeht. Eben dieses, dafs nur *ein* Strahl aus dem Spiegel hervorgeht, gilt auch bei der Drehung des Spiegels auf $90° + i$ [2].

1 Poggend. XXIII. 392.

2 Mit wenigen Worten mufs ich doch hier Brewster's schöne

71. Eine zweite Farben-Erscheinung bietet sich in den Farbenringen dar, die man beobachtet, wenn durch ein-axige Krystalle ein polarisirter Strahl nach der Richtung der Axe durchgeht. Brewster hat zuerst diese Ringe durch eine sehr umfassende Untersuchung genau kennen gelehrt, aber Biot und Seebeck haben dieselbe Entdeckung, wenn gleich später, gemacht[1]. Der Doppelspath stellt sie in ausgezeichneter Schönheit dar, aber auch Beryll, Zircon, Saphir, Turmalin und Eis u. a. stellen sie dar. Im Bergkrystall und andern Quarzen verbinden sich damit andere Erscheinungen und deshalb werden diese hier nicht angewandt[2]. Um diese Ringe leicht und vollkommen gut zu sehn, läſst man am liebsten auf eine ziemlich groſse horizontale Glasfläche oder einige auf einander liegende, unbelegte Gläser, deren sämmtliche Oberflächen parallel sind, das Licht auffallen, und nimmt die Stellung des Auges so, daſs es die unter dem Polarisationswinkel zurückgeworfenen Strahlen empfängt. Man stellt dann vor dem Auge eine mit der Axe des Krystalls parallel geschnittene Turmalinplatte so auf, daſs der Lichtstrahl senkrecht auf sie fällt, und giebt ihr, durch Drehung in ihrer Ebene, die Richtung, wobei das reflectirte Licht am meisten verdunkelt erscheint, das ist, wo die Axe des Turmalins in der Vertical-Ebene oder in der Polarisations-Ebene des reflectirten Strahls liegt[3]. Wird dann eine Doppelspathplatte, die senkrecht gegen die Axe geschnitten ist, so daſs sie den polarisirten Strahl senkrecht durchläſst, zwischen dem Spiegel und dem Turmalin gehalten, so sieht man, indem das Auge durch den Turmalin und Doppelspath nach dem Spiegel

---

Untersuchung über die in einigen Kalkspathkrystallen sich zeigenden vielfachen Bilder anführen (Phil. Tr. 1815. p. 270.). Er zeigt, daſs es fremdartige Schichten im Krystall sind, die sie hervorbringen, daſs man künstliche Zwischenschichten machen kann, die im zerschnittenen und wieder zusammengefügten Doppelspathkrystalle eben solche Vervielfachung der Bilder hervorbringen. Die Farben dieser Bilder aber hängen von der Dicke dieser Zwischenschichten ganz nach den hier betrachteten Gesetzen der durch dünne Blättchen hervorgebrachten Depolarisation ab (p. 282). — Hierher gehört auch Brewster's Abh. in d. Phil. Tr. of the Edinb. Soc. VIII. 165.

1 Phil. Tr. 1813. 213. 1814. 202. Biot Traité IV. 542.

2 S. nr. 114.

3 Vergl. nr. 29.

blickt, die glänzendsten Farbenringe mit einem schwarzen Kreuze durchschnitten, dessen einer Arm in der Reflexions-Ebene oder der Ebene der ursprünglichen Polarisation, der andere senkrecht gegen diese Ebene ist, so wie dieses die Zeichnung darstellt. Fig. 94.

Diese Erscheinung bleibt ganz ungeändert, wenn man auch den Kalkspath in seiner Ebene dreht, und wenn die Axe des Krystalles wirklich senkrecht gegen die Platte ist, so kann es auch nicht anders seyn, da die Erscheinungen nach allen Richtungen von der Axe aus gleich seyn müssen. Die Ringe sind genaue Kreise, deren mittlern Raum das Schwarz bedeckt, welches auch die Winkel zwischen den Armen des Kreuzes ausfüllt. An dieses Schwarz in der Mitte grenzt ein dunkelblauer Rand, hieran Weifs, das in gelbliches Weifs übergeht, und dann Farbenkreise in der Ordnung, wie wir sie bei den Newton'schen Farbenringen [1] kennen. Eben diese mit den Newton'schen Ringen übereinstimmende Folge der Farben findet bei Beryllplatten und Turmalinplatten, die senkrecht auf die Axe geschnitten sind, und bei Platten rein gefrornen Eises statt, wenn man sie statt des Kalkspathes anwendet. Manche andere Krystalle weichen hiervon ab, wie nachher erwähnt werden soll.

72. So zeigen sich die Erscheinungen, wenn die Turmalinplatte ihre Axe in der Reflexions-Ebene hat. Stellt man diese Axe senkrecht gegen die Reflexions-Ebene, so treten in jedem einzelnen Puncte die Ergänzungsfarben hervor; das Kreuz ist weifs, der Raum, welcher in den Winkeln des Kreuzes vorhin vier weifse Kreistheile zeigte, bietet nun schwarze Flecke dar, die da in Blau übergehn, wo das Weifs vorhin in Gelb überging, und auch in den Ringen selbst ist diese Umkehrung eingetreten, wie es die Zeichnung darstellt. Fig. 95. Will man diese Umkehrung entstehen sehn, so ist es am besten, zuerst die Turmalinplatte wieder so zu stellen, dafs das schwarze Kreuz sich vollkommen zeigt, und sie dann nach und nach zu drehen. Hat man die Axe des Turmalins nur erst wenig von der Reflexions-Ebene entfernt, so wird das Schwarz des Kreuzes etwas minder dunkel, und wenn man etwas weiter fortdreht, so treten in diesem Raume Theile farbiger Ringe hervor, deren jeder in einem bestimmten Abstande vom Mittelpuncte die Ergänzungsfarbe

1 S. Art. *Anwandelungen.*

zu derjenigen zeigt, die in den vorigen Ringen in eben dem Abstande von der Mitte vorkam. Die farbigen Kreise bestehn dann aus acht Stücken, deren vier zwischen den aus dem schwarzen Kreuze hervorgegangenen Stücken noch die zuerst beobachteten Farben, aber blässer, mit Weifs gemifcht, zeigen, statt dafs die statt des schwarzen Kreuzes entstandenen Bogen mit den Ergänzungsfarben zu den Kreisen, deren Theile sie ausmachen, hervortreten. Die Kreise, welche dort die dunkelsten Farben zeigen, treffen in den aus dem schwarzen Kreuze entstandenen Theilen auf die hellsten Farben und umgekehrt; in der Gegend aber, wo diese ungleich gefärbten Bogen an einander grenzen, ist ein kleiner verwaschener, weifslicher Zwischenraum. Hat man die Axe des Turmalin's 45° von der Ebene der ursprünglichen Polarisation entfernt, so sind jene acht Theile gleich, die farbigen Kreise zeigen im ersten, dritten, fünften, siebenten Octanten die einen, in den dazwischen liegenden Octanten die andern Farben, und die sehr schmalen weifslichen Uebergangsräume stellen sich als acht gleich gegen einander geneigte Radien dar. Bei dieser Drehung des Turmalins sind nun zwar die aus dem schwarzen Kreuze entstandenen Farbenbogen dieser Drehung gefolgt, aber so, dafs ihre Mitte nur um $\frac{1}{2}\alpha$ fortgerückt ist, wenn der Turmalin um den Winkel α gedreht ist; hatte also das schwarze Kreuz zwei verticale und zwei horizontale Arme, als $\alpha = 0$ war, so liegt die Mitte der aus demselben hervorgegangenen Octanten auf 22° 30′ von der Verticallinie und von der Horizontallinie, wenn $\alpha = 45°$ ist. Erst dann, wenn $\alpha = 90°$ wird, haben die neu entstandenen Farben die Quadranten so eingenommen, dafs ihre Mitte in 45° liegt, und ein weifses Kreuz mit horizontalen und verticalen Armen durchschneidet sie, wie ich schon früher bemerkt habe[1].

Fig. 96.

---

1 Schon bei diesem einfachen Verfahren sieht man eine grofse Anzahl von Farbenringen; will man aber auch die entfernteren erkennen, die bei dieser Beobachtungs-Art unsichtbar werden, weil die Mischung aller Farben ein fast gleichförmiges Weifs hervorbringt (s. Art. *Anwandelungen* S. 303. 314.), so kann man sich entweder des Prisma's bedienen, so wie Newton es anwandte, um bei den von ihm beobachteten Farbenringen die entferntern noch zu erkennen (Opt. Lib. 2. Obs. 24), oder man kann eine andere mit der Axe doppelter Brechung parallel geschnittene Platte zwischen den Spiegel und die senkrecht gegen die Axe geschnittene Platte bringen, und sieht dann die

73. Ich habe bisher stets die Turmalinplatte angewandt, weil mit ihr am bequemsten der Versuch anzustellen ist, und die Farben, wenn der Turmalin nicht selbst zu sehr eine Färbung hineinbringt, sich sehr schön darstellen. Man kann sich aber auch eines Doppelspathprisma's bedienen, und hat da den Vorzug, zwei Bilder mit den entgegengesetzten Farbensystemen zugleich zu sehn. Mit einem nicht zum Prisma gebildeten Doppelspathe erhält man beide Bilder nicht weit genug getrennt. Hier zeigt nun, wenn der Hauptschnitt des Krystalls in der ursprünglichen Polarisations-Ebene liegt, das ungewöhnliche Bild Farbenringe mit dem schwarzen Kreuze, das gewöhnliche Bild die Ergänzungsfarbenringe mit dem weifsen Kreuze, und bei der Drehung des Doppelspaths gehn die Farbenringe in die entgegengesetzten über, so wie die Zeichnung es darstellt. Auch eines zweiten Spiegels kann man sich, wie bei dem Polarisations-Instrumente bedienen. Ist dann die gegen die Axe senkrecht geschnittene Doppelspathplatte dem polarisirten Strahle so ausgesetzt, dafs dieser nach der Richtung der Axe durch sie geht, und der zweite Spiegel auf den Polarisationswinkel gestellt, so sieht man, wenn der Spiegel auf der Drehungsstellung $=90^{\circ}$ steht, das schwarze Kreuz mit den zugehörigen Farbenringen, bei der Drehung auf 0° das weifse Kreuz mit den zugehörenden Farbenringen[1]. Diese Beobachtungs-Arten sind die bequemsten; aber Brewster hat ein Verfahren angegeben, den Versuch auch da anzustellen, wo sich die Krystalle nicht gut nach einer auf die Axe senkrechten Richtung schneiden und poliren lassen. Ich will den unzerschnittenen Doppelspath als Beispiel nehmen, in welchem die Axe doppelter Brechung einen Winkel von 45° 23′ mit der Oberfläche macht. Wenn man auf die Seitenflächen dieses Krystalls Flintglasprismen E F B, G H D, deren Winkel EBF = GDH etwas gröfser als 45,°5 ist, so setzt, dafs ihre Seitenlinien senkrecht gegen den Hauptschnitt sind, in welchem LM die Richtung der Axe ist, so geht ein von A senk-

Fig. 96.
Fig. 97.

entferntern Ringe hervortreten. Brewster hat dazu eine Bergkrystallplatte angewandt (Phil. Tr. 1818. 219); eine Beryllplatte ist ebenso brauchbar, auch dickere Gypsplatten.

1 Um die Beobachtung mit Hülfe des zweiten Spiegels bequem anzustellen, hat Airy eine verbesserte Einrichtung vorgeschlagen. Poggend. XXIII. 261.

recht auf EB einfallender Strahl fast genau nach der Richtung der Axe des Krystalls durch denselben, und ein Auge bei C sieht (wenn der einfallende Strahl polarisirt war und bei C durch eine Turmalinplatte geht) die Ringe vollkommen gut, wenn die Prismen mit einer das Licht ungefähr ebenso stark, als sie selbst brechenden, durchsichtigen Materie auf den beiden Oberflächen befestigt sind.

74. Um diese Ringe zuerst in Rücksicht auf ihre Farben genauer kennen zu lernen, ist die wichtigste Bemerkung die, dafs bei homogenem Lichte die hellen Ringe des ungewöhnlichen Bildes in eben den verhältnifsmäfsigen Entfernungen vom Mittelpuncte vorkommen, wie in den durch Zurückwerfung entstehenden Newton'schen Farbenringen, indem, wenn ϑ der scheinbare Abstand eines Ringes vom Mittelpuncte ist, $\text{Sin.}^2\,\vartheta$ bei dem ersten, zweiten, dritten, gleichfarbigen Ringe Werthe erhält, die den Zahlen 1, 3, 5 u. s. w. proportional sind. In den Fällen, von denen ich jetzt nur reden will, findet ferner das statt, dafs, wenn man Licht von verschiedenen Farben auffallen läfst, sich $\text{Sin.}^2\,\vartheta$. ebenso ändert, wie es bei den Newton'schen Farbenringen der Fall ist, und wir können daher, wenn n h eine Zahl der Newton'schen Tafel ist, diese als durch $\text{Sin.}^2\,\vartheta$. angegeben ansehen; das heifst, wenn h eine constante Zahl ist, und man hat für den ersten Farbenring einer bestimmten Farbe $\frac{\text{Sin.}^2\,\vartheta}{h} = \frac{1}{2}$, so ist für den zweiten $\frac{\text{Sin.}^2\,\vartheta}{h} = \frac{3}{2}$; für den dritten $\frac{\text{Sin.}^2\,\vartheta}{h} = \frac{5}{2}$ u. s. w.; und wenn man für eine andere Farbe die verhältnifsmäfsige Zahl aus der Newton'schen Tafel statt $n = \frac{1}{2}$ nimmt, so erhält man für diese Farbe den Werth von ϑ aus eben der Formel. Ist z. B. für das äufserste Roth $n.h = \frac{1}{2}h$ im ersten Ringe, so müfste man den dritten violetten Ring durch $\text{Sin.}^2\,\vartheta = 1{,}57.\ h$ erhalten, weil diese Ringe den Zahlen 6,35 und 20,0, entsprechen[1], und bei den, aus Weifs hervorgehenden, gemischten Farben müfste man nach NEWTON's Tafel[2] ebenso rechnen[3].

Diese Regel gilt, so lange der Winkel ϑ klein genug

---

1 Vergl. Art. *Anwandelungen.* Th. 1. S. 312.
2 Opt. Lib. 2. Part. 2.
3 BREWSTER in Phil. Tr. 1818. 1236.

bleibt, um den Weg des Lichtstrahls in der doppelt brechenden, senkrecht gegen die Axe geschnittenen Platte als in allen Fällen gleich anzusehn. Aber für gröfsere Winkel ϑ und für Platten von ungleicher Dicke, ist $\text{Sin.}^2\,\vartheta$ zugleich dem in der Platte durchlaufenen Wege umgekehrt proportional, so dafs, wenn r die Dicke der Platte, ϱ der Winkel ist, unter welchem der Weg des Lichtstrahls innerhalb der Platte gegen die Axe der Platte geneigt ist, $\text{Sin.}^2\,\vartheta = \frac{n\,h}{r\,.\,\text{Sec.}\,\varrho}$ wird, wenn immer von Platten derselben Art die Rede ist. Uebrigens ist ϱ, obgleich der Strahl eigentlich ein doppelter ist, hier so wenig verschieden für beide, dafs die Wege $= r\,.\,\text{Sec.}\,\varrho$, als gleich können angesehn werden.

Es ist bekannt, dafs der nach der Richtung der Axe des Krystalls durchgehende Strahl gar keine Brechung und keine Spaltung in zwei Strahlen erleidet; aber der in der Richtung AO zum Auge kommende Strahl, für welchen $AOD = \vartheta$ die Neigung gegen die Axe ist, mufs als aus zwei Strahlen bestehend angesehen werden, deren Geschwindigkeiten in der Platte ungleich waren, $= v$ und $= v'$. Nun ist bei der doppelten Brechung $v'^2 - v^2 = k.\ \text{Sin.}^2\,\vartheta$ und k eine constante Zahl; daher wenn t, t' die innerhalb der Platte zugebrachten Zeiten sind, $r\,.\,\text{Sec.}\,\varrho = v\,t = v'.t'$, Fig. 98.

$$\text{also } v'^2 - v^2 = r^2\,\text{Sec.}^2\,\varrho\,\left(\frac{1}{t'^2} - \frac{1}{t^2}\right)$$

$$= \frac{r^2.\text{Sec.}^2\,\varrho\,(t-t')\,(t+t')}{t^2.t'^2}$$

oder weil hier $t + t'$ so nahe $= 2t$ ist, dafs man $\frac{t+t'}{t^2.t'^2} = \frac{2}{t^3}$

und daher $k.\text{Sin.}^2\,\vartheta = \frac{2.r^3\ \text{Sec.}^3\,\varrho}{t^3}.\frac{(t-t')}{r\,\text{Sec.}\,\varrho} = \frac{2v^3\ (t-t')}{r\,\text{Sec.}\,\varrho}$

setzen kann, so ist offenbar nh dem Werthe von $t - t'$ proportional oder die Ringe gehn da hervor, wo die Voreilung des einen Strahls vor dem andern $= t - t'$, die vorhin für nh angezeigte Uebereinstimmung mit den Zahlen jener Tafel hat. Die in dem ungewöhnlichen Bilde sichtbaren Ringe mit dem schwarzen Kreuze gehn also da hervor, wo die beiden Strahlen um eine oder drei oder fünf u. s. w. halbe Undulationen einander vorausgeeilt sind. Hieraus läfst sich auch übersehn,

dafs, wie es der Versuch zeigt, die Ringe kleiner werden, wenn man aus demselben Krystalle dickere Platten senkrecht auf die Axe geschnitten nimmt. Denn t—t′ erhält schon für kleinere Werthe von ϑ den einer halben Undulation, drei halben Undulationen u. s. w. entsprechenden Werth, wenn r gröfser ist. Aus eben dem Grunde verkleinern sich die Ringe, wenn man zwei Platten gleichartiger oder wenigstens zu derselben Classe — der negativen oder der positiven — gehörender Krystalle vereinigt, weil da die im einen Krystalle entstandene Voreilung sich im andern vergröfsert; dagegen vergröfsern sich die Ringe, die man durch die eine Krystallplatte wahrgenommen hatte, durch Hinzufügung einer Platte von entgegengesetzter Art, weil da die vom einen Strahle gewonnene Voreilung durch die nun entstehende Voreilung des andern vermindert wird, also die bestimmte Gröfse der Voreilung, die zur Bildung eines gewissen Ringes erforderlich ist, erst in gröfserer Entfernung von der Axe statt findet.

75. Auch diese Farben hat Biot nach seiner Theorie der beweglichen Polarisation, wo die Oscillationen der Lichttheilchen in eben solchen gleichen Perioden wiederkehren, wie die Undulationen in der andern Theorie, erklärt; aber um nicht zu ausführlich zu seyn, theile ich hier nur Fresnel's Erklärung dieser Erscheinungen mit.

Es ist offenbar, dafs diese Erklärung wieder darauf beruhen mufs, dafs in der gegen die Axe senkrecht geschnittenen Krystallplatte jeder nicht völlig mit der Axe parallele Strahl in zwei entgegengesetzt polarisirte gespalten wird, dafs diese zwei Strahlen in dem Doppelspathe oder in der Turmalinplatte aufs neue gespalten, zwei Paare von Strahlen geben, deren jedes zwei der Interferenz fähige Strahlen enthält, und dafs diese Interferenzen von der Voreilung t—t′ in der Krystallplatte abhängen. Im Turmalin wird eines dieser Paare von Strahlen am Durchgange gehindert und nur das andere bleibt sichtbar. Nach den früher angegebenen Bestimmungen mufs nun die verstärkende Interferenz bei dem Voreilen um eine ganze Undulation eintreten, wenn die entgegengesetzt polarisirten Strahlen im Doppelspathe oder Turmalin auf eine und dieselbe mittlere Richtung der Polarisation zurückgeführt werden, und die verstärkende Interferenz mufs bei dem Voreilen um eine halbe Undulation eintreten, wenn die Zurückführung

auf einerlei Polarisations-Ebene dadurch geschieht, dafs die Strahlen zu Richtungen der Polarisation übergehn, die um 180° verschieden sind[1]. Es sey also zuerst die Axe des Turmalin's in die ursprüngliche Polarisations-Ebene, bei der Zurückwerfung vom Spiegel in die Vertical-Ebene, gestellt, wo sie die in dieser Ebene polarisirten Strahlen nicht durchläfst. P P′ sey diese Ebene; C sey der Punct, den das Auge als Mittelpunct der Ringe sieht, und O sey ein um den Winkel PCO = i von jener Ebene entfernter Punct in den Farbenringen, auf welchen das Auge gerichtet wird. Da die Axe des Krystalls in C gerade gegen das Auge gerichtet ist, so zerspaltet sich der von O herkommende polarisirte Strahl in einen gewöhnlich gebrochenen nach CO polarisirt, und in einen ungewöhnlich gebrochenen parallel mit CE polarisirt. Beide Strahlen erleiden bei dem Eindringen in den Turmalin eine neue Spaltung, so dafs der erstere CO in einen abermals gewöhnlich gebrochenen nach CP polarisirten, und in einen ungewöhnlich gebrochenen nach CQ polarisirten Theil zertheilt wird, von dem zweiten, nach CE polarisirten, Strahle dagegen wird der jetzt gewöhnlich gebrochene Theil nach CP, der jetzt ungewöhnlich gebrochene Theil nach CQ′ polarisirt. Bei der angenommenen Stellung des Turmalin's werden die nach CP polarisirten Theile nicht durchgelassen und wir sehen die nach CQ und CQ′ polarisirten Theile. Diese zeigen sich uns vermöge verstärkender Interferenzen da, wo die Voreilung der Undulationen des einen Strahls vor dem andern eine oder drei oder fünf oder sieben halbe Undulationen beträgt, gerade so, wie es sich in der Erfahrung zeigt. Ist statt des Turmalin's ein Doppelspath mit seinem Hauptschnitte nach CP gerichtet aufgestellt, so gehn wirklich vier Strahlen hervor, deren zwei nach CP polarisirt in dem gewöhnlich gebrochenen Bilde vereinigt sind, zwei nach CQ, CQ′ polarisirte in dem ungewöhnlich gebrochenen Bilde. In jenem Bilde erscheint also eine bestimmte Farbe allemal da, wo die Voreilung der Undulationen eine ganze Undulation beträgt, und gerade in dieser Entfernung erscheint eben die Farbe gar nicht im andern Bilde, weil dort eine halbe Undulation verloren geht, und daher die Interferenz da eine auslöschende ist, wo sie in jenem Bilde eine verstärkende war.

Fig. 93.

1 Vergl. nr. 69.

Die Entstehung des schwarzen Kreuzes läſst sich ebenfalls leicht erklären. Richten wir unser Auge nach P, nach einem Puncte in der ursprünglichen Polarisations-Ebene, so ist der von P kommende Strahl auch nach dem Durchgange durch den Krystall noch immer ganz in eben der Ebene polarisirt, es findet keine Zerspaltung in zwei Strahlen statt, und dieser Strahl wird also nicht vom Turmalin durchgelassen, die ganze Gegend in der ursprünglichen Polarisations-Ebene ist dunkel und bildet die beiden verticalen Arme des schwarzen Kreuzes. Dagegen, wenn wir unser Auge nach Q richten, wo $i = 90°$ ist, so wird der ganze von Q kommende Strahl in der Krystallplatte ungewöhnlich gebrochen, und behält seine Polarisation, so daſs auch er nicht von der Turmalinplatte durchgelassen wird, und alle Puncte in der gegen die erste Polarisations-Ebene senkrechten und durch die Mitte der Ringe gehenden Ebene dunkel erscheinen und in unserm Versuche die zwei horizontalen Arme des schwarzen Kreuzes darstellen. Im Allgemeinen nämlich ist des durch den Krystall gewöhnlich gebrochenen und nach dem Radius CO polarisirten Strahls Intensität $= A. \text{Cos.}^2 i$, und diese verschwindet für $i = 90°$, dagegen wird die auf den Radius, in welchem der betrachtete Punct O sich befindet, senkrecht polarisirte Lichtmenge, das heiſst für $PCO = i = 90°$ diejenige Lichtmenge, die nach PC polarisirt bleibt, in diesem Falle der ganzen ursprünglichen Lichtmenge $= A$ gleich, aber da diese nicht durchgelassen wird, so sieht man die horizontalen Theile des Kreuzes dunkel. Ist es ein Doppelspath, den man statt des Turmalin's gebraucht, so gehn in den eben betrachteten Fällen gar keine Strahlen in das ungewöhnliche Bild über und dieses hat ein schwarzes Kreuz, wogegen alle Strahlen in das gewöhnliche Bild übergehn, welches daher ein weiſses Kreuz zeigt.

Hat der Turmalin seine Axe senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisations-Ebene, so zeigen sich in jedem Puncte die Ergänzungsfarben und das weiſse Kreuz, indem jetzt die in der Ebene CP polarisirten Strahlen sichtbar werden. Aber auch für jede schiefe Stellung der Turmalinplatte läſst sich die Entstehung der Theile beider Arten von Farbenringen erklären. Es sey CP noch immer die Ebene der ursprünglichen Polarisation, CO derjenige Radius des Farbenringes, auf welchen wir unser Auge richten, CS die Richtung der Axe des Turmalin's;

es sey $PCS = \alpha$, $PCO = i$. Indem der nach CP polarisirte Strahl die Krystallplatte trifft, wird er in zwei Strahlen nach CO und CE′ polarisirt gespalten; aus diesen beiden gehn beim Eintritte in den Turmalin vier Strahlen hervor, unter denen aber nur die zwei zum Auge gelangen, die nach CT oder CT′, nämlich senkrecht gegen die Axe des Turmalin's polarisirt sind. Für den Fall da $\alpha < i$ und beide kleiner als 90° sind, entstehen aber die im Turmalin ungewöhnlich gebrochenen zwei Strahlen so, dafs CO in CS, CT, und CE in CS, CT′ zerlegt wird; also sind die beiden interferirenden ungewöhnlich gebrochenen Strahlen diejenigen, bei denen eine halbe Undulation verloren geht, das heifst in den Puncten des ersten Quadranten, die entfernter als die Axe des Turmalin's von der ursprünglichen Polarisations-Ebene liegen, gehen eben die Farben hervor, die vorhin das schwarze Kreuz begleiteten. Ist dagegen $i < \alpha$, wie es der Fall wäre, wenn CO die Axe des Turmalin's, S der ins Auge gefafste Punct ist; so zerlegt sich im Krystalle der nach CP polarisirte Strahl nach den Richtungen CS, CT′, und da im Turmalin der Strahl CS nach den Richtungen CO, CE′, der Strahl CT′ nach den Richtungen CO′, CE′ zerlegt wird, also die vom Turmalin durchgelassenen Strahlen sich in der gleichen Richtung CE′ der Polarisation vereinigt haben, so sehen wir dort die Farben, die da, wo keine halbe Undulation verloren geht, sich zeigen, das ist, in Puncten, die weniger als die Axe des Turmalin's von der ursprünglichen Polarisations-Ebene entfernt sind, erscheinen die Ergänzungsfarben zu denen, welche für $i > \alpha$ statt fanden. Eine ähnliche Betrachtung gilt für alle Quadranten.

Richten wir unser Auge, indem CS die Richtung der Axe des Turmalin's ist, gerade nach P, so ist der von P ausgegangene Strahl in der Krystallplatte ungespalten geblieben, und indem er durch den Turmalin geht, ist der dort durchgelassene, ungewöhnlich gebrochene Strahl nur *einer*, so dafs keine Interferenzen statt finden, und hier blofs weifses Licht erscheint. Dagegen wenn von S Licht ausgeht und CS die Axe des Turmalin's ist, so waren zwar in der Krystallplatte zwei entgegengesetzt polarisirte Strahlen entstanden, aber diese behalten im Turmalin ihre Polarisation und es ist daher auch hier keine Veranlassung zu Interferenzen, sondern der mit der Axe des Turmalin's übereinstimmende Radius erscheint in weifs-

lichem, farbenlosem Lichte. Eben das gilt für alle acht oben erwähnten Radien.

Die Anwendung auf die im Doppelspathe oder im zweiten Spiegel sichtbaren Bilder läſst sich hieraus leicht ableiten.

76. Will man die Intensität des Lichts in den verschiedenen Puncten bestimmen, so sey CP die Richtung der ursprünglichen Polarisation, CS die Richtung der Axe des Turmalin's, O ein Punct, für den die Intensität des Lichts bestimmt werden soll, $PCS = \alpha$, $PCO = i$. Nenne ich nun Fo, Fe die Intensitäten der in dem Krystalle hervorgegangnen Strahlen, so ist $Fo = A. \operatorname{Cos.}^2 i$ und $Fe = A. \operatorname{Sin.}^2 i$; aus dem ersten geht ein im Turmalin ungewöhnlich gebrochener Strahl $Foe = A. \operatorname{Cos.}^2 i. \operatorname{Sin.}^2 (i - \alpha)$, aus dem zweiten ein ungewöhnlich gebrochener Strahl $Fee = A. \operatorname{Sin.}^2 i. \operatorname{Cos.}^2 (i - \alpha)$ hervor, die Summe beider

$$= A. [\operatorname{Cos.}^2 i. \operatorname{Sin.}^2 (i - \alpha) + \operatorname{Sin.}^2 i. \operatorname{Cos.}^2 (i - \alpha)]$$

ist die Intensität des uns durch den Turmalin sichtbar werdenden Strahls, und diese ist am kleinsten, wenn $2i = \alpha$ und am gröſsesten, wenn $2i = 90^\circ + \alpha$; es ist also bei einer Abweichung der Axe des Turmalin's von der ursprünglichen Polarisations-Ebene die Intensität des Lichts am kleinsten in der Mitte der aus dem schwarzen Kreuze hervorgegangnen Farben und am gröſsten da, wo $i = 45^\circ + \frac{1}{2}\alpha$ ist, in der Mitte der in den übrigen Kreistheilen sichtbaren Farben. Die Gleichungen für das Maximum und Minimum sind $\operatorname{Cos.}(4i - 2\alpha) = -1$ und $= +1$. Für $\alpha = 0$ findet das erstere statt, wenn $i = 45^\circ$, $i = 135^\circ$, $i = 225^\circ$, $i = 315^\circ$ ist, und das letztere für $i = 0$, $i = 90^\circ$, $i = 180^\circ$, $i = 270^\circ$. Für $\alpha = 90^\circ$ ist es umgekehrt, für $\alpha = 45^\circ$, wo die Octanten wechselnde Farben zeigen, trifft das Maximum der Intensität auf $67^\circ,5$, $157^\circ,5$ u. s. w., das Minimum auf $22^\circ,5$, $112^\circ,5$ u. s. w.

77. Hiermit wäre die ganze Erscheinung erklärt, wenn die Ordnung der Farben sich ganz streng an die Farbenfolge der Newton'schen Ringe hielte. Im Doppelspathe, der senkrecht auf die Axe geschnitten ist, verhält es sich so, und hier ergiebt sich daher, wenn man den Winkel ϑ für *einen* Farbenstrahl im ersten, zweiten, dritten Kreise kennt, auch der Werth von ϑ für jeden andern, indem man aus der Ungleichheit der Länge der Undulationen (oder Anwandelungen in der Newton'schen Theorie) das Verhältniſs kennt, in welchem t — t'

für jede zwei Strahlen stehn mufs, um die Interferenzen hervorzubringen. Aber nicht alle einaxige Krystalle geben die Folgen der Farbenringe genau jenem Gesetze entsprechend, sondern Herschel sowohl als auch Brewster haben mehrere gefunden, deren Farbenringe jener bestimmten Ordnung nicht entsprechen. So führt Herschel eine sehr gewöhnliche Varietät des Apophyllits an, in welcher, wenn man das Experiment mit homogenem Lichte anstellte, die Halbmesser der farbigen und der dunkeln Ringe fast ganz gleich blieben, es mochte der einfache Farbenstrahl in der einen oder andern Gegend des prismatischen Farbenbildes liegen; die im grünen Strahle hervorgehenden Ringe waren etwas kleiner, die blauen und indigoblauen ganz gleich, die violetten ein wenig gröfser als die rothen. Dieses nahe Zusammenstimmen für alle Farben bewirkte, dafs auch im weifsen Lichte die hellen Ringe fast ganz weifs, die dunkeln Ringe fast ganz schwarz waren, und dafs man eine viel gröfsere Zahl von Ringen sah (mehr als 35), als es sonst im weifsen Lichte gewöhnlich ist. Bekanntlich würde die Zahl der Ringe bei ganz vollkommener Uebereinstimmung für alle Farben unermefslich grofs werden, aber die entferntern Ringe liegen einander sehr nahe.

Einen noch merkwürdigern Fall erzählt Herschel von einem andern Apophyllite. Nach dem Gesetze der Newton'schen Farbenringe und nach der Länge der Undulationen sind die Farbenringe für die stärker brechbaren Farben immer kleiner; hier hingegen nahmen sie vom Roth bis zu den Strahlen von mittlerer Brechbarkeit an Gröfse zu, für die indigoblauen Strahlen erkannte man sie gar nicht, für das Violett hingegen waren sie wieder kleiner, wenn sie gleich die rothen Kreise noch an Gröfse übertrafen. Daher schlofs sich, wenn man die Ringe in weifsem Lichte darstellte, an das Schwarz in der Mitte ein rother, orange, gelber, grüner und in schmuzig Blau übergehender Ring als erste Farbenfolge an, dann Purpur, Roth mit Uebergang zum Gelb, gelblich weifs, bläulich Grün, unreines blasses Blau, als zweite Farbenfolge, und endlich blasses Purpur, blasses Roth, Weifs und sehr blasses Blau als letzte, dritte Farbenfolge[1].

Herschel knüpft hieran die Bemerkung, dafs in dem zu-

1 Ph. Tr. 1820. 93. und Herschel vom Lichte. §. 915.

letzt erwähnten Falle die doppelte Brechung für alle Strahlen, nur nicht für das Indigoblau statt fand, und dafs die Geschwindigkeiten beider Strahlen eine Differenz mit entgegengesetztem Zeichen für die Farben diesseits und jenseits das Indigoblau gaben. Sieht man nämlich den Unterschied der Quadrate beider Geschwindigkeiten, der durch doppelte Brechung entstandenen Strahlen, $v'^2 - v^2$, als Mafs der Stärke der doppelten Brechung an, so ist, wie wir oben (nr. 74.) sahn, $v'^2 - v^2 = k.\,\mathrm{Sin.}^2\,\vartheta$, und k kann als Mafs der specifischen Stärke der doppelten Brechung angesehn werden. $v'^2 - v^2$ war dem Unterschiede der Zeiten $t' - t$, oder dem Verzögerungsraume der Voreilung des einen Strahls vor dem andern, proportional, und k ist also dem $t' - t$ direct und der Gröfse von $\mathrm{Sin.}^2\,\vartheta$ umgekehrt proportional; je gröfser die Ringe von gleicher Farbe, desto kleiner die specifische doppelt brechende Kraft. Diese ist also sehr klein bei so ungemein grofsen Farbenringen, und in dem eben angeführten Falle müfste man sagen, dafs, obgleich der Krystall sich doppelt brechend zeigte für alle andern Farbenstrahlen, er doch für das Indigoblau nur als einfach brechend anzusehn war, bei dem darüber hinausliegenden Violett aber eine entgegengesetzte Differenz der Geschwindigkeiten statt fand.

Diese Abweichungen, deren Herschel später noch mehrere eben so starke aufgefunden hat [1], sind auffallend, weil sie so grofs sind; aber mit Recht bemerkt Herschel, dafs eine strenge Uebereinstimmung mit jener Newton'schen Scale eigentlich gar nicht angenommen werden könne und nur annähernd bei den Körpern statt finde, wo die Zerstreuung der Farben von geringer Gröfse ist. Nach Newton's Beobachtung nämlich änderte sich die Länge der Anwandelungen in verschiedenen Medien dem Brechungs-Exponenten gemäfs [2], und ebenso hängt in der Undulationstheorie die Länge der Undulationen vom Brechungs-Exponenten ab; dieser ist aber bekanntlich nicht allein ungleich für verschiedene Farbenstrahlen, son-

1 Transact. of the Cambridge philos. Soc. Vol. 1. Part. I. p. 21. Hier kommen Versuche mit einem Apophyllit vor, der in zwei Stücke gespalten, in jedem Stücke andere Einwirkungen der brechenden Kräfte auf die einzelnen Farben zeigte. S. auch ebendas. Part. II. p. 241.

2 Art. *Anwandelungen* S. 316.

dern auch in sehr verschiedenem Verhältnisse ungleich für dieselben Farbenstrahlen in verschiedenen Medien, also kann die von einem einzigen Falle hergenommene Bestimmung nur so lange auch für andere Fälle zutreffen, als diese Ungleichheiten nicht bedeutend genug werden, um sehr kenntlich zu seyn. Sehr wichtig sind daher in dieser Beziehung Rudberg's Untersuchungen[1] über die Zerstreuung des Lichts in beiden Strahlen doppelt brechender Krystalle. Diese zeigen, daſs die Brechung des gewöhnlichen und des ungewöhnlichen Strahls in ungleichem Maſse bei den verschiedenen Farbenstrahlen von einander abweicht, so daſs also in allen doppelt brechenden Körpern jeder Farbenstrahl seinen eigenen Grad doppelter Brechung hat. Diese Versuche sind mit Bergkrystall und mit Doppelspath, ferner mit Arragonit, und Topas angestellt; ihre Resultate genau anzugeben, liegt auſser den Grenzen, die ich mir hier setzen muſs, und ich bemerke daher nur, daſs man mit Rücksicht auf diese Ungleichheit den Verzögerungsraum würde berechnen müssen, wenn man die Ringe genau beurtheilen wollte.

78. Aehnliche Erscheinungen, aber von noch mehr verwickelter Art, zeigen nun auch die doppelt brechenden Krystalle mit zwei Axen. Brewster hat zuerst[2] diese Erscheinungen wahrgenommen und die Gesetze, nach welchen sie entstehn, sogleich sehr sorgfältig angegeben.

Daſs gewisse Krystalle zwei Axen haben, erkennt man daran, daſs sich in ihnen nicht eine, sondern zwei Richtungen finden, nach welchen der Strahl durchgehn kann, ohne doppelt gebrochen zu werden, obgleich in allen andern Richtungen die doppelte Brechung statt findet[3]. Und in eben diesen zwei Richtungen kann ein polarisirter Strahl durch sie gehn, ohne seine Polarisation zu ändern. Wenn eine Platte senkrecht auf eine dieser Richtungen geschnitten ist, so bleibt der an irgend einer Stelle der Platte senkrecht durchgehende polarisirte Strahl so polarisirt, wie er es früher war, und wenn

1 Poggd. Ann. XIV. 45. XVII. 1.

2 Philos. Tr. 1814. 202. 1818. 221.

3 Merkwürdige Versuche, die eine neue Bestätigung der Undulationstheorie darbieten, giebt Lloyd in Phil. Magaz. 1833. Febr. March. p. 112. 207.

die Turmalinplatte mit ihrer Axe in der Ebene der Polarisation gehalten, den Strahl aufnimmt, so läfst sie ihn nicht durch, und das Auge sieht hier einen dunkeln Fleck; die etwas von der senkrechten Richtung abweichenden Strahlen aber sind auf ähnliche Weise, wie bei einaxigen Krystallen anders polarisirt und bieten ein System von Farbenringen dar. Bei einigen zweiaxigen Krystallen machen die zwei Richtungen, welche diese Eigenschaft haben und die wir die *optischen Axen* nennen, grofse Winkel, selbst bis zu 90° mit einander; dagegen aber giebt es auch Krystalle, deren optische Axen nur wenige Grade gegen einander geneigt sind, z. B. beim prismatischen Salpeter ist der Winkel der Axen nur 5° 20′, beim kohlensauern Strontian 6° 56′, beim Arragonit 18° 18′. Bei solchen Krystallen ist es vortheilhaft, sie senkrecht gegen die Linie zu schneiden, welche den Neigungswinkel der optischen Axen halbirt; solche Platten setzt man hier voraus, und die Verbindung beider die zwei Axen umgebenden Ringsysteme zeigt sich sehr gut bei diesen Krystallen, wo die Axen einen nur kleinen Winkel mit der Mittellinie machen.

Bedient man sich nämlich dann, ebenso wie bei den vorigen Versuchen, einer horizontalen Glasplatte, die polarisirte Strahlen zurückwirft, und sieht durch eine gehörig gehaltene Turmalinplatte so auf die Krystallplatte, dafs die Gesichtslinie mit der Richtung der einen Axe der letztern zusammenfällt, oder dafs die Gesichtslinie mit der andern Axe zusammenfällt, so sieht man die Mitte des einen oder andern Ringsystems, und da in diesem Falle beide in demselben Gesichtsfelde liegen, so übersieht man die gesammten Farbenlinien, mit den sie durchkreuzenden dunkeln oder hellen Linien mit einem Blicke.

79. Herschel hat ein Instrument angegeben, welches hier, wo man die Figur der Farbenringe sorgfältiger bestimmen mufs, vorzüglichen Werth hat, obgleich es auch bei einaxigen Krystallen gut gebraucht werden kann. Der Hauptsache nach besteht es aus zwei Turmalinplatten, zwischen welchen die Krystallplatte ihre Stellung erhält. Der eine dieser Turmaline polarisirt das auf die Krystallplatte fallende Licht und der zweite Turmalin läfst dann, wenn die Axen beider auf einander senkrecht sind, das so polarisirte Licht nicht durch, die durch den Krystall hervorgebrachte Depolarisirung zeigt

sich in den entstehenden Farbenringen. Um aber das Gesichtsfeld gleichmäfsig zu erleuchten, und um durch die in derselben Richtung liegenden Gegenstände nicht gestört zu werden, ist die Glaslinse H angebracht, durch welche die Lichtstrahlen gehn, ehe sie die erste Turmalinplatte G erreichen; der Brennpunct dieser Linse liegt ungefähr da, wo die Krystallplatte F ihren Platz erhält, und E ist die zweite Turmalinplatte, die nahe an das Auge gehalten wird.

Fig. 99.

Die Linse und die erste Turmalinplatte sind in eine Messingröhre gefafst, und eine zweite Röhre, in welcher die erste sich herein- und herausschieben läfst, ist mit der Fassung des zweiten Turmalins verbunden. Die erste Röhre kann ganz aus der zweiten herausgenommen werden, damit man die Krystallplatte F auf der für sie bestimmten Oeffnung befestigen und mit verschiedenen Krystallplatten den Versuch wiederholen könne. Die Oeffnung F befindet sich in der Grundfläche eines kurzen Cylinders cd, dessen Wände sich an die Röhre ABCD anschliefsen, damit man den Krystall drehen könne, während die Turmalinplatten ihre Stellung behalten. Um diese Drehung zu bewirken, ist dieser kurze Cylinder mit einem Ansatze e versehn, der sich in einem durch etwa 120° gehenden Einschnitte der äufsern Röhren herumschieben läfst. So ist man im Stande, während der erste Turmalin seine Stellung ungeändert behält, erstlich den Krystall in alle erforderliche Stellungen, so dafs seine zwischen beiden optischen Axen gezogene Linie mit der Axe des ersten Turmalin's zusammenfällt, oder sich bis auf 90° und mehr von derselben entfernt, zu bringen, und zweitens bei jeder gewählten Stellung des Krystalls die Axe des zweiten Turmalin's in alle verschiedene Richtungen zu stellen.

Dieses Instrument ist aber nicht blofs bequem, um die Farbenringe zu sehn, indem man das Auge an den zweiten Turmalin bringt, sondern man kann auch, wenn im finstern Zimmer ein Sonnenstrahl auf die Linse H fällt, die Farbenringe auf einer vor E in mäfsiger Entfernung gehaltenen weifsen Tafel projicirt darstellen.

80. Um das System dieser Farbenringe genau kennen zu lernen, werde ich zuerst die Gestalt jedes einzelnen gleichfarbigen Ringes betrachten, dann auf die dunkeln oder hellen Linien kommen, von welchen sie durchkreuzt werden, und

endlich die Ordnung, in welcher die Farben auf einander folgen, näher betrachten.

Wenn man die einzelnen Ringe betrachtet, welche zunächst die beiden Axen umgeben, so scheinen diese nicht so gar sehr von der Kreisform abzuweichen, indefs bemerkt man doch, dafs sie enger an einander in der Gegend liegen, die von der Mitte am entferntesten ist, und dafs sie gegen die Mitte sich breiter ausdehnen. Aber wenn man die Ringe, die weiter von den Axen, die man füglich die *Pole dieser Curven* nennen kann, entfernt liegen, wahrnehmen kann, so sieht man, dafs diese eine einzige, beide Pole umfassende, geschlossene Curve bilden. Diese Linien alle bilden deutlich ein System von Curven, die man unter dem Namen *Lemniscaten* zusammenfassen kann, wenn gleich ursprünglich nur die Linie so genannt worden ist, die von den zwei zusammengehörenden Ovalen zu einem beide Pole umfassenden Ovale den Uebergang macht. Es wird sogleich ein Grund erhellen, warum diese Lemniscaten hervorgehn. Um die Erfahrung, dafs die Farbenlinien wirklich mit diesen übereinstimmen, zu bestätigen, hat Herschel jenes Instrument angewandt, um das Bild auf einer Tafel, welche die Lemniscaten aufgezeichnet enthielt, darzustellen, und hat die Farbenlinie vollkommen an die gezeichneten Linien sich anschliefsend gefunden, wenn nur für den Abstand der Pole die richtige Entfernung aufgetragen war. Die Zeichnung der Figuren 100 bis 103 zeigen diese Farbenringe für den Fall, wo man selbst die, beide Pole mit einem einzigen Ovale umfassenden, Linien noch erkennen kann.

Fig. 100 bis 103.

Diese Linien sind, wie leicht zu übersehn ist, so an die Richtung der optischen Axen gebunden, dafs die zwischen beiden Polen gezogene Linie sich mit fortbewegt, wenn man den Krystall in seiner Ebene dreht; denn immer erscheint einer der Pole in der Richtung, in welcher ein der Axe parallel durchgehender Strahl zum Auge gelangt. In dieser Hinsicht leidet also die Farben-Erscheinung durch die Drehung der Krystallplatte, bei gleich bleibender Stellung des Turmalin's, keine wesentliche Aenderung, die schwarzen Linien aber, die dann erscheinen, wenn der Turmalin das ursprünglich polarisirte Licht nicht durchliefs, nehmen andere Gestalten an, die ich jetzt noch nicht betrachte.

Wenn man sich einer Krystallplatte bedient, wo die Axen einander nicht so nahe liegen, dafs man die von den Polen entferntern Curven im weifsen Lichte gut wahrnehmen kann, so ist es vortheilhaft, eine mit der Axe parallel geschnittene Beryllplatte oder eine nicht zu dünne Platte blätterigen Gyps vor den Krystall zu halten. Da man mit Hülfe derselben, bei gehöriger Richtung der Axe dieses Krystalls, entferntere Farbenlinien wahrnimmt, so übersieht man dann die ganze Erscheinung vollständiger.

81. Damit ich den Grund erklären könne, warum diese *isochromatischen Linien* Lemniscaten sind, mufs ich über eine Haupt-Eigenschaft dieser Linien etwas vorausschicken. Nennt man den Abstand der beiden Pole der Lemniscaten $Pp=2a$ und rechnet die Abscissen $=x$ von der Mitte dieses Abstandes an, so wird die senkrechte Ordinate z durch folgende Gleichung Fig. 104.

$$(z^2+x^2+a^2)^2=a^2(4x^2+b^2)$$

bestimmt, und es ist hier b eine für jede einzelne Curve anders anzunehmende Linie. Sucht man nun für jeden Punct einer einzelnen dieser Curven die Abstände von beiden Polen, so findet man das Rechteck aus beiden Abständen unveränderlich für alle Puncte derselben Curve $=ab$, und dieses ist *eben die vorhin* erwähnte, hier für uns wichtige Eigenschaft. Es ist also das Rechteck aus $PA.pA$ gleich grofs für alle Puncte der beiden innern Ovale; ebenso $PB.pB$ unveränderlich für alle Puncte der Curve, worin B liegt; $PC.pC$ unveränderlich für alle Puncte der Curve, worin C liegt. Die Gestalt der Lemniscaten wird eine verschiedene, je nachdem $b=a$ oder $b>a$ oder $b<a$ ist. Für $b=a$ geht die krumme Linie durch den Mittelpunct E zwischen beiden Polen; für $b>a$ umschliefst ein einziges Oval beide Pole, und dieses ist, wenn b nur wenig die Entfernung a übertrifft, um die Mitte merklich eingebogen; für $b<a$ sind zwei getrennte, zu einander gehörige, gegen die Mitte etwas mehr als nach aufsen ausgedehnte, Ovale da, wie die Zeichnung dieses alles deutlich angiebt[1].

82. Um jene merkwürdige Eigenschaft der Lemniscaten, dafs das Rechteck aus jeden zwei aus beiden Polen an einen und denselben Punct gezogenen Entfernungslinien u, u' dem

---

1 Brandes höhere Geometrie. I. Th. S. 170.

Rechteck ab gleich ist, an unsere optischen Betrachtungen zu knüpfen, fange ich mit der Bemerkung an, daſs dem die Farbenlinien betrachtenden Auge diese Entfernungslinien unter Sehewinkeln, die ϑ, ϑ' heiſsen mögen, erscheinen, und daſs daher sehr nahe u.u' als dem Producte $\vartheta . \vartheta'$ bei sehr kleinen Bogen oder dem Producte Sin. ϑ. Sin. ϑ' proportional gesetzt werden kann. Erinnern wir uns also daran, daſs bei einaxigen Krystallen $\text{Sin.}^2 \vartheta = \text{n h}$ war, wenn wir nicht auf die ungleiche Dicke der Platte Rücksicht nahmen und die ungleiche Schiefe der durchgehenden Strahlen nicht berücksichtigten, oder allgemeiner $\text{Sin.}^2 \vartheta = \frac{\text{n h}}{\text{r. Sec. } \varrho}$ gesetzt werden konnte, und daſs dann einem bestimmten Werthe von ϑ eine bestimmte Farbe entsprach, so erhellet leicht, daſs ganz analog hier, wo r und ϱ für die Ausdehnung eines bestimmten Ringes nicht sehr verschieden ist, das Product Sin. ϑ. Sin. ϑ' constant bleiben muſs, damit n h als gleich, das ist, damit überall dieselbe Farbe hervorgehe. Die Gleichung $\text{Sin.} \vartheta . \text{ Sin.} \vartheta' = \frac{\text{n h}}{\text{r. Sec. } \varrho}$ hat daher hier ganz dieselbe Bedeutung, wie die eben angeführte, den Kreisringen entsprechende Gleichung in nr. 74[1].

Es erhellt hieraus auch, daſs eine Platte senkrecht auf die Mittellinien beider optischen Axen geschnitten, nur dann Linien, welche mit den Lemniscaten übereinstimmen, geben kann, wenn die beiden Pole im Gesichtsfelde nicht sehr weit aus einander liegen, oder die Axen keine groſse Neigung gegen einander haben. Da wo diese Neigung sehr groſs wäre, würden die zu einerlei Farbenringe gehörigen Lichtstrahlen unter allzu verschiedenen Winkeln $= \varrho$ durch die Platte gehn, als daſs man Sec. ϱ. als beinahe für alle gleich ansehn dürfte, und die Curven würden auch wirklich dann merklich von der ihnen hier beigelegten Form abweichen. Daſs ϑ, ϑ' auch hier die Winkel sind, welche ein zum Auge gelangender Strahl mit beiden optischen Axen macht, brauche ich wohl kaum zu erinnern, da die vom Auge nach beiden Polen gezogenen Linien ja die Verlängerungen der optischen Axen sind, in welchen der Strahl, ohne seine Polarisation zu ändern, durchgeht.

---

1 Welche überaus verschiedene Werthe h bei den verschiedenen Körpern erhält, giebt Herschel an. Vom Lichte §. 1126.

83. Für jede einzelne Curve erhält b einen andern Werth, und wenn man bei homogenem, einfarbigem Lichte in den verschiedenen hellen Curven durch Abmessung der Abstände irgend eines Punctes von beiden Polen das Product dieser Abstände und folglich a b bestimmt, so erhält b für die auf einander folgenden Ringe Werthe, die in der Progression 1, 3, 5, 7 fortgehn, so dafs, da a immer gleich bleibt bei ein und derselben Krystallplatte und einerlei Farbenstrahle, das Product Sin. ϑ. Sin. ϑ' für den ersten, zweiten, dritten Ring u. s. w. nach eben der Zahlenreihe im ungewöhnlichen Bilde fortgeht. Die einaxigen Krystalle sind also als besonderer Fall in dem hier betrachteten enthalten, und sie verhalten sich so, als ob beide Axen in eine zusammenfielen.

Dafs die Lemniscaten nur so lange, als der Weg des Strahls in der Platte nicht viel verschieden an Länge ist, als genau anzusehn sind, habe ich schon erwähnt. Um die Rücksicht auf diese Ungleichheit zu vermeiden, führt Brewster die Untersuchung so, als ob aus jedem Krystalle eine Kugel geschnitten wäre, durch deren Mittelpunct der polarisirte Strahl ginge. Bei Krystallen mit *einer* Axe würde P p diese Axe vorstellen, und wenn in gleichen Entfernungen von P in E und F Strahlen senkrecht auffielen, so würden auf diese die polarisirenden Kräfte mit gleicher Gewalt wirken und daher in dem ganzen Kreise E F gleiche Farben hervorgehn; die Parallelkreise um die Pole P, p wären *isochromatische* oder *gleichfarbige Curven.* Die Einwirkung der doppelt brechenden oder der die Polarisirung bewirkenden Kräfte ist in CD am gröfsten, wo die senkrecht einfallenden Strahlen einen rechten Winkel mit der Axe machen, und sofern die Farbe von Sin.² ϑ abhing, würde in CD das Maximum des Werthes entstehn, den wir oben für n h fanden und als die Farbe angebend betrachteten. Wäre ein zweiaxiger Krystall kugelförmig geschnitten, so würde es einen gröfsten Kreis O C o D geben, in welchem beide Axen Pp, P′p′ lägen, und hier würde man wieder nach den isochromatischen Curven fragen für Strahlen, die in allen Richtungen einfallend durch den Mittelpunct gingen. Diese gleichfarbigen Curven fangen bei P, P′ als Mittelpuncten an, und wenn man die Farben darnach, wie sie gröfseren Zahlen in der Newton'schen Tafel entsprechen, höhere Farben nennt, so gelangt man von P nach O, von P nach C, von P nach A oder B

Fig. 105.

Fig. 106.

gehend, zu Farben höherer Ordnung. Dafs in diesem Sinne die Farben in A und B (90° von allen vier Polen entfernt) ihr Maximum erreichen, ist offenbar; es wird also bei A und B schon Weifs als Resultat der Mischung erscheinen können, wenn auch bei C und D noch ein Farbenring sichtbar bliebe. Geht man von O nach den Puncten A oder B (die in den beiden geometrischen Polen des durch die Axen gehenden gröfsten Kreises liegen) zu, so gelangt man zu immer höheren Farben-Ordnuugen, weil die Strahlen, welche etwa in X auffallen, gröfsere Winkel mit beiden optischen Axen machen, als die zwischen O und X auffallenden. Dagegen sind die Farben von O gegen P niedrigerer Ordnung zugehörig. In der Erscheinung der Farbenringe würden P, P′ die beiden Pole, O die Mitte der Curven seyn.

Brewster hat diese Vorstellung bequem gefunden, weil Sec. ϱ dann nicht in den Ausdrücken vorkommt; ich mufs indefs gestehn, dafs mir diese Vorstellung, wenn man auch das Auge in den Mittelpunkt der Kugel versetzt, doch nur dann bequem erscheinen würde, wenn ein Fall, wo die polarisirten Strahlen von allen Seiten auf die Kugel fielen, vorkäme.

84. Bei der bisherigen Betrachtung ist das schwarze Kreuz gar nicht erwähnt worden. Wenn der Turmalin unverändert seine Stellung so behält, dafs seine Axe in der Ebene der ursprünglichen Polarisation ist, so ergeben sich bei der Drehung der Krystallplatte folgende Erscheinungen. 1. Lag zuerst die durch beide Axen des Krystalls gelegte Ebene in der ursprünglichen Polarisations-Ebene, oder erschienen beide Pole der Lemniscaten in der Verticallinie, wenn der polarisirte Strahl von einem horizontalen Spiegel ausgeht, so zeigt sich auch hier ein schwarzes Kreuz, dessen zwei Arme durch beide Pole gehn, die beiden andern Arme durch die Mitte zwischen den Polen senkrecht gegen jene. 2. Dreht man den Krystall ein wenig, so dafs die Linie durch die Pole etwas von der Verticallinie abweicht, so trennt sich das Kreuz in der Mitte. 3. Ist die Drehung bis 22°,5 gekommen, so haben die schwarzen Linien, die in der 102ten Figur gezeichnete Form, und eben diese nehmen sie bei 67°,5 Drehung wieder an. 4. Bei 45° Drehung erscheinen sie wie in der Figur 103, und gehn nun die vorigen Formen wieder durch, so dafs 5. bei 90° Drehung das schwarze Kreuz sich wieder darstellt.

Fig. 100. Fig. 101. Fig. 102. Fig. 103.

85. Warum diese schwarzen Linien erscheinen, läfst sich der Hauptbestimmung nach leicht zeigen. Wir wissen aus dem Vorigen, dafs sie da erscheinen, wo die aus dem Krystalle hervorgehenden Strahlen ihre ursprüngliche Polarisation behalte[illegible]en und daher vom Turmaline nicht durchgelassen wer[illegible] In dem Falle, den ich so eben unter 1. angeführt [illegible] ist dieses offenbar der Fall bei den Strahlen, die in der [illegible]ertical-Ebene liegen; denn jede Axe allein würde ohne Zweifel die Strahlen theils in einer durch die Axe gehenden Ebene, theils senkrecht gegen dieselbe polarisiren, kommen aber die Strahlen in einer Polarisation an, deren Polarisations-Ebene durch beide Axen geht, so ändert sich die Polarisation gewifs nicht. Aber auch die Strahlen, die in einer durch die Mitte zwischen beiden Polen gehenden Horizontal-Ebene liegen, behalten ihre Polarisation, weil die Einwirkung beider Axen auf sie völlig symmetrisch und gegenseitig zerstörend ist. Der 5te Fall läfst sich fast genau ebenso erklären, nur mit dem Unterschiede, dafs hier in der horizontalen, durch beide Axen gehenden Ebene die Lichtstrahlen ihre Polarisation senkrecht auf diese Ebene behalten.

Im zweiten Falle, wo die Richtungslinie Pp, die Verbindungslinie zwischen beiden Polen, nur wenig von der Ebene der ursprünglichen Polarisation abweicht, werden offenbar die um die Mitte M liegenden Strahlen in zwei nach Pp und senkrecht auf Pp polarisirte zerlegt und aus diesen gehn im Turmaline Strahlen hervor, die durchgelassen werden; die dunkeln Linien sind daher von M zurückgewichen. Bei beträchtlich weit nach B oder b liegenden Strahlen nähert sich die Einwirkung beider Axen noch der Gleichheit, und Bb wird eine Asymptote seyn, woran sich die Aeste der dunkeln Curve anschliefsen. Dafs die Curve durch P und p geht, versteht sich von selbst, indem in diesen Polen die polarisirten Strahlen immer durchgehn, ohne ihre Polarisation zu ändern.

Fig. 107.

Ebenso liefse sich eine oberflächliche Betrachtung für alle in den Figuren 101 bis 103 dargestellte Fälle durchführen, aber auch die allgemeinere Bestimmung der Gestalt der dunkeln Linien ist nicht sehr schwierig. Um sie zu entwickeln, mufs ich nur den Hauptsatz anführen, den Biot als geltend für die Polarisation der beiden in zweiaxigen Krystallen bei der doppelten Brechung entstandenen Strahlen angiebt und den auch

Fresnel's Theorie als richtig anerkennt. Er ist folgender. Wenn der doppelt brechende Krystall zwei Axen P und p hat, so lege man durch den im Krystalle fortgehenden Strahl und eine mit der Axe P parallel gezogne Linie eine Ebene, und lege ferner durch den Strahl und eine mit der Axe p parallel gezogne Linie eine zweite Ebene, endlich lege man durch den Strahl eine den Neigungswinkel jener beiden Ebenen halbirende Ebene, dann ist diese letztere Ebene die Polarisations-Ebene des einen Strahls und die auf sie senkrechte Ebene die Polarisations-Ebene des andern Strahls. Sind die Strahlen, was bei unserer jetzigen Betrachtung indefs nicht vorkommt, merklich von einander getrennt, so würde man für den gewöhnlich gebrochenen Strahl (oder eigentlich für den Strahl, der von den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung am wenigsten abweicht, bei dem die Geschwindigkeit der Fortpflanzung am wenigsten von der Verschiedenheit der Richtung abhängt), jene drei Ebenen legen müssen und in der Halbirungs-Ebene selbst die Polarisations-Ebene haben; für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl würde man auf gleiche Weise die drei Ebenen bestimmen und die auf die letztere senkrechte, durch die Richtung des Strahls gehende, würde seine Polarisations-Ebene seyn [1].

In Beziehung auf die Betrachtung, die wir hier nur anzustellen brauchen, nämlich um die dunkeln Linien in den Ringsystemen zu finden, die von keinem sehr grofsen Umfange sind, wo ϑ, ϑ' nur eine geringe Gröfse erhalten, kann man ohne Bedenken annehmen, dafs für den, von irgend einem Puncte Q ausgehenden, Strahl die eben bezeichnete Halbirungs-Ebene durch die Linie QN dargestellt werde, welche den Winkel PQp halbirt. Es sey nämlich O die Mitte zwischen beiden Polen P, p der Lemniscaten, so dafs das Auge sich senkrecht über O befindet und die durch P, p gehenden optischen Axen gegen das Auge gerichtet sind; Q sey ein Punct in den Farbenringen, von welchem das Auge einen Strahl empfängt, dann

Fig. 108.

1 Nach Fresnel's Theorie ist es nicht die Richtung des Strahls, sondern die Normallinie der Lichtwelle, durch welche die beiden ersten Ebenen gelegt werden sollten; da der Unterschied aber unbedeutend ist und der Grund dafür nur in einer vollständigen Darlegung der *Undulationstheorie* erklärt werden kann, so bleibe ich bei jener Regel stehn. Vergl. Poggend. XXIII 542.

sind es eigentlich die durch PQ und das Auge, und die durch pQ und das Auge gelegten Ebenen, deren Neigungswinkel halbirt werden soll, die Durchschnittslinie dieser Halbirungs-Ebene mit der Ebene der Figur kann aber hier als mit der Halbirungslinie QN einerlei angesehn werden. Für jeden Punct Q ist also der eine Strahl in der Ebene QN, der andere senkrecht hierauf polarisirt, und wenn OR die Ebene der ursprünglichen Polarisation ist, so findet keine Spaltung des Strahls in zwei Strahlen statt, sobald diese Halbirungslinie QN parallel mit OR oder darauf senkrecht ist.

Betrachten wir also nur den Fall, wo die Axe des Turmalin's mit der Ebene OR der ursprünglichen Polarisation zusammenfällt, so zeigen sich dem Auge da dunkle Linien, wo der durch den Krystall gehende Strahl seine Polarisation behält, und die Bestimmung der dunkeln Linien ist eine rein geometrische, die sich so ausdrücken läfst: Es sind zwei feste Puncte P, p, und eine Linie OR gegeben, man sucht die Lage derjenigen Puncte Q, für welche die den Winkel pQP halbirende Linie mit OR parallel ist. Es sey $ROP = \alpha$, und Q durch Coordinaten $OS = x$, $SQ = y$ bestimmt, der gegebne Abstand $OP = Op$ sey $= a$. Dann sind der Puncte P und p Coordinaten $a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha$ und $-a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha$ mit x, ferner $a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha$ und $-a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha$ mit y parallel. In allen Fällen ist offenbar, wenn man QM mit RO parallel zieht,

$$\mathrm{Tang.}\,PQM = \frac{a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha - y}{(x - a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha)}$$

$$\text{und } \mathrm{Tang.}\,pQM = \frac{y + a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha}{x + a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha},$$

und Q ist der gesuchte Punct, wenn QM mit der halbirenden Linie QN zusammentrifft oder

$$\frac{y + a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha}{x + a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha} = \frac{a\,\mathrm{Sin.}\,\alpha - y}{x - a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha}$$

ist. Daraus folgt

$$xy = a.^2\,\mathrm{Sin.}\,\alpha.\ \mathrm{Cos.}\,\alpha = \tfrac{1}{2}\,a.^2\ \mathrm{Sin.}\,2\alpha.$$

Dieses ist die Gleichung für alle Puncte, in welchen das Licht seine ursprüngliche Polarisation behält und folglich bei der vorausgesetzten Lage des Turmalin's nicht durchgelassen wird, wo also sich dunkle, die Farbenlinien durchkreuzende, Linien zeigen.

Die Gleichung zeigt sogleich, dafs diese Linien Hyperbeln sind. Ist $\alpha = o$, so mufs entweder x oder y $= o$ seyn, oder nur Puncte, die in OR oder in der durch O auf OR senkrecht gezogenen Linie Tt liegen, erscheinen dunkel, die dunkeln Linien bilden ein schwarzes Kreuz, wie in Figur 100. Eben das findet bei $\alpha = 90°$ statt, obgleich dann die beiden Pole in der Horizontallinie liegen würden. Für jeden andern Werth von α bleiben die Curven Hyperbeln, deren Asymptoten die Linien Rr, Tt sind. Jede dieser Hyperbeln geht durch die Pole, deren Lage sich mit dem Winkel α ändert; denn da die Coordinaten der Pole $=$ a. Cos. α und $=$ a. Sin. α. sind, so gehören sie selbst zu den Puncten, deren Coordinaten das verlangte Product geben.

86. Wenn man den Turmalin dreht, während der Krystall eine ungeänderte Lage behält, so gehn ähnliche Aenderungen hervor, wie bei einaxigen Krystallen. Es zeigen sich nämlich, sobald die Axe des Turmalin's anfängt, sich von der Ebene der ursprünglichen Polarisation zu entfernen, in den dunkeln Hyperbeln neue Farbenlinien, die mit ihren dunkeln Theilen auf die hellen der vorigen treffen und überhaupt das System complementairer Farben zu den vorigen darstellen. Sie sind begrenzt durch zwei hyperbolische Linien, und bei einer Drehung des Turmalin's um 90° gehn Farbenlinien der Ergänzungsfarben mit weifsen Durchkreuzungshyperbeln statt der schwarzen hervor.

87. Die Folge der Farben in den einzelnen Ringen ist hier nicht so einfach, als man erwarten sollte, und dieses hängt nicht allein und nicht einmal vorzüglich davon ab, dafs, wie beim Apophyllit, die Perioden für die verschiedenen Farbenstrahlen den Längen der Undulationen nicht entsprechen, sondern die Pole der Lemniscaten stimmen in manchen Krystallen bei einer Farbe nicht mit denen für eine andere Farbe überein. Herschel hat sich hiervon durch directe Versuche überzeugt, indem er Krystalle des Rochellesalzes (weinsteinsaure Soda und Kali) den verschiedenen Strahlen des prismatischen Farbenspectrums aussetzte. Hier zeigten sich die einfarbigen Lemniscaten regelmäfsig und wurden kleiner für jeden andern stärker brechbaren Strahl; aber ihre Pole rückten deutlich fort, wenn man von einem Strahle zum andern überging, und wenn man nur zwei Farben zur Erleuchtung anwandte, so sah man beide Ringsysteme mit

ihren verschiedenen Mittelpuncten und ungleichem Halbmesser noch deutlich [1]. Hieraus entspringt bei dem gemischten weifsen Lichte eine Unregelmäfsigkeit, die sich, wenn beide Pole in der Ebene der ursprünglichen Polarisation liegen, durch Färbung der zunächst an beiden Seiten der dunkeln Linie und an den Polen liegenden Kreise zeigt, indem diese an beiden Enden entgegengesetzte Farben darbieten und dieses auf umgekehrte Weise, je nachdem die Axe für rothe oder für violette Strahlen mehr von der Mitte entfernt liegt.

Alle diese Axen liegen indefs in dem Hauptschnitte, der durch beide Pole geht [2], und daher ist, wenn dieser Hauptschnitt in der Ebene der ursprünglichen Polarisation liegt, und der Turmalin seine Axe mit dieser parallel hat, die durch beide Pole gehende Linie vollkommen dunkel.

Rudberg hat für den Arragonit den Winkel, welchen die beiden optischen Axen mit einander machen, aus seinen Bestimmungen der Brechung für jeden Farbenstrahl berechnet und ihn für violette Strahlen 20°. 25'. für rothe 19° 45' gefunden [3]. Diese Berechnung gründet sich auf die Beobachtung des Brechungsverhältnisses für die Fälle, wo der eine Strahl eine constante Geschwindigkeit bei verschiedenen Neigungen behält. Sind nämlich ε' und ε'' die Winkel, welche der Strahl mit der einen und der andern optischen Axe macht, so erhält man die Geschwindigkeiten beider Strahlen v', v'' nach Fresnel's Theorie durch

$$\frac{1}{v'^2} = A + B.\ \mathrm{Sin.}^2\ \tfrac{1}{2}\,(\varepsilon' - \varepsilon''),$$

$$\frac{1}{v''^2} = A + B.\ \mathrm{Sin.}^2\ \tfrac{1}{2}\,(\varepsilon' + \varepsilon''),$$

ausgedrückt, wo A, B constante Gröfsen sind. Bedient man sich nun erstlich eines aus dem doppelt brechenden Körper geschnittenen Prisma's, dessen Axe mit der Linie parallel ist, die den spitzen Winkel zwischen beiden optischen Axen halbirt, so bleiben die im Prisma gebrochenen Strahlen in einer auf diese Axe senkrechten Ebene, und es ist daher, welche Neigung auch

---

1 Phil. Tr. 1820. 75.

2 Diese, wenigstens für die meisten Fälle geltende Regel hat aber dennoch auch Ausnahmen. Poggend. XXVI. 303.

3 Brewster hat den Winkel der Axen nur = 18° 18' angegeben.

der einfallende Strahl habe, $\varepsilon' + \varepsilon'' = 180°$, also $\frac{1}{v''^2} = A + B$; bedient man sich zweitens eines Prisma's, dessen Kante parallel mit der Linie ist, die den stumpfen Winkel zwischen beiden optischen Axen halbirt, so ist $\varepsilon' = \varepsilon''$ und $\frac{1}{v^2} = A$; bedient man sich drittens eines Prisma's, dessen Kante senkrecht gegen die durch beide optische Axen gelegte Ebene ist, so befindet sich der durch das Prisma gehende Strahl in der Ebene der optischen Axen und es ist $\varepsilon' - \varepsilon'' = \alpha =$ dem von den Axen eingeschlossenen Winkel; daher

$$\frac{1}{v^2} = A + B.\ \mathrm{Sin.}^2 \tfrac{1}{2}\alpha.$$

Diese drei Fälle geben daher jeder *einen* Strahl mit constanter Geschwindigkeit, bei welchem also für die verschiedenen Einfallswinkel ein constantes Brechungsverhältnifs statt findet. Rudberg's Versuche bestimmten für jeden einzelnen Farbenstrahl (indem die Fraunhofer'schen dunkeln Linien im Farbenspectrum als ganz bestimmte Puncte desselben angebend benutzt wurden) diesen Werth von $\frac{1}{v^2}$ oder den Exponenten der Brechung in den eben angegebenen drei Fällen, und so führten sie sowohl zur Bestimmung der Gröfse A und B, als auch zur Bestimmung des Winkels α für jeden einzelnen Farbenstrahl. Es erhellet hieraus, wie wichtig diese Versuche für die hier betrachteten Bestimmungen sind [1].

88. Aus diesem Nichtzusammenfallen der Pole erklärt sich auch eine sehr allgemeine Beobachtung, die man am besten machen kann, wenn der Hauptschnitt der Krystallplatte 45° von der Ebene der ursprünglichen Polarisation abweicht. Geht man dann die Farben der Ringe durch, so findet man im weifsen Lichte eine der Anordnung der Newton'schen Farbenringe mehr entsprechende Farbenfolge, wenn man von zwei andern Puncten des Hauptschnittes, die man *virtuelle Pole* genannt hat, ausgeht, als wenn man von den scheinbaren Polen die in der Mitte der zwei Ringsysteme liegen, ausgeht. Diese virtuellen Pole behalten für einerlei Art von Krystall einen gleichen Winkel-Abstand von den scheinbaren Polen, wenn

1 Poggend. XVII. 5.

auch die Dicke der Platte ungleich ist. Die scheinbaren Pole erscheinen daher nicht ganz schwarz, und ihre Färbung gehört einem Ringe anderer Ordnung an, wenn die Platte dicker ist. Diese Puncte liegen zwischen den Polen, wenn die blaue Axe der Mitte näher als die rothe liegt, z. B. bei Rochellesalz, Borax, Mica, und aufserhalb, wenn die Axe der blauen Strahlen mehr als die der rothen von der Mitte ab liegt, z. B. im Salpeter, Arragonit, Strontian. Der Grund hiervon erhellet leicht; denn da die violetten Ringe kleiner sind, so trifft der violette auf denjenigen rothen Ring, der an der Seite liegt, wohin das Centrum des violetten vorgerückt ist; ungefähr fallen dann auch die zwischenliegenden Farben zusammen, und bilden Weifs, wenn die Farben oder die hellen Ringe zusammenfallen, oder bilden Schwarz, wenn die dunkeln Zwischenräume zusammenfallen. Von diesen Coincidenzpuncten gehn dann die Farben ziemlich den Newton'schen Ringen gemäfs, wenn die Farbenfolge nicht zugleich solchen Abweichungen unterworfen ist, wie wir oben beim Apophyllit sahn. Für einen schwefelsauern Baryt fand Herschel in dem virtuellen Pole des ungewöhnlichen Bildes Schwarz oder vielmehr ein dem Schwarz nahe kommendes Purpur. Ging man nun von diesem virtuellen Pole, der weiter als der scheinbare Pol von der Mitte ab lag, weiter hinauswärts, so folgte ein grünliches und dann ein reines Weifs, dieses ging in Orange über, woran sich die Farbenreihe Roth, Blau, Hellblau, grünliches Weifs und dann Orange, Roth, Purpur, Blau, Grün, Gelb, Roth, unreines Purpur, schönes Grün, Roth, Grün, anschlofs. Im virtuellen Pole trafen die dunkeln Zwischenräume fast aller Ringe, deren Mittelpuncte die verschiedenen wahren Pole waren, zusammen; aber da die blauen und grünen hellen Ringe in einem kleinern Zwischenraume von ihrem zugehörigen dunkeln Ringe liegen, so treten diese Farben, noch ungemischt mit Roth, als grünliches Weifs, hervor und daran erst grenzt das volle Weifs, wo die nächsten hellen Ringe aller Farben sich decken. Dafs dieses Weifs einen äufseren Orangerand haben und in Roth übergehn mufs, ist offenbar; aber dann kommen, weil dem hellen rothen Ringe der dunkle Zwischenraum des nächsten violetten und blauen Ringes entsprach, die hellen blauen Ringe gleich nach dem Roth, da hingegen, wo nun der nächste orange und rothe Ring liegen sollte, trifft zugleich schon der folgende helle violette

Ring, daher grünliches Weiſs sich hier anreihet u. s. w. Gegen die Mitte zu ist die Farbenfolge nicht so regelmäſsig, weil man von hier gegen die verschiedenen Mittelpuncte zu geht. Das dunkle Purpur des virtuellen Poles ging in violettes Weiſs und reines Weiſs über, ein gelblich weiſser Rand trennte dieses vom röthlichen Violett, und hieran schloſs sich dunkles Purpur, dunkles Blau, ein Uebergang durch Grünlich in Gelb, Hellroth, Purpur, grünlich Blau an, und dieses lag im scheinbaren Pole, dann folgte grünlich Blau, grünlich Weiſs, Roth u. s. w. Da man hier die Axe der blauen Strahlen eher erreicht, als die der rothen, so ist hier die Farbenreihe anders, als wenn man nach der andern Seite fortgeht, und nur nach der Seite, die von den Polen abwärts liegt, kann die Ordnung der Farben ziemlich nahe der Newton'schen Reihe entsprechen.

Herschel[1] giebt noch mehrere Unregelmäſsigkeiten an, die sich hieraus erklären lassen, und zeigt dann auch, wie die beim Apophyllit erwähnte ungleiche Einwirkung auf die verschiedenen Farben, wodurch die Perioden von den Verhältnissen der Undulationslängen abweichen, die Erscheinungen noch verwickelter macht.

In Beziehung auf diese optischen Axen verdienen auch noch folgende Bemerkungen hier einen Platz. Vom Glauberit hatte Brewster schon früher[2] bekannt gemacht, daſs er im weiſsen Lichte gar keine kenntliche Pole der Farbenringe zeige, und dieses deswegen, weil zwar im rothen Lichte die optischen Axen 5° gegen einander geneigt erscheinen, und kenntliche Pole darstellen, in den stärker brechbaren Strahlen aber die Pole näher zusammenrücken und für die violetten Strahlen ganz zusammenfallen. Eine frühere Beobachtung Mitscherlich's scheint nachher Brewster veranlaſst zu haben, den Glauberit genauer und zwar in verschiedenen Temperaturen zu untersuchen, und diese Untersuchung zeigte, daſs die Lage der Axen mit der Temperatur sich ganz auffallend ändert. Bei der Gefrierkälte hat der Glauberit zwei Axen doppelter Brechung für alle Farbenstrahlen, die für die violetten Strahlen am wenigsten gegen einander geneigt sind. Bei zunehmender Temperatur nimmt für alle Farben die Neigung der beiden

1 Ph. Tr. 1820. 74.

2 Schweigg. Jahrb. XXVI. 318. Edinb. Ph. Tr. XI. 223.

Axen ab, und im violetten Strahle zeigt sich zuerst der Glauberit einaxig; aber für noch mehr steigende Temperaturen tritt dieses bei den folgenden Farbenstrahlen nach und nach ein und im violetten Strahle treten aufs neue zwei Axen hervor, die in einer gegen die vorige Ebene der Axen senkrechten Ebene liegen. Schon bei einer Temperatur, die noch unter dem Kochpuncte ist, erscheinen die zwei Axen für alle Farben in dieser neuen Ebene [1].

Mitscherlich's frühere Untersuchung betraf den Gyps [2]. Dieser ist in niedrigen Temperaturen zweiaxig, der Winkel zwischen den Axen wird aber bei steigender Wärme kleiner und bei 73°,5 R fallen die Axen zusammen; wird die Wärme noch gröfser, so gehn die Axen auf's neue auseinander, aber in einer Ebene, die senkrecht gegen diejenige Ebene ist, in welcher sie bei niedriger Temperatur lagen. Es ist offenbar, dafs dieses mit einer Aenderung der Gestalt der Krystalle zusammenhängen mufs [3]. Brewster hat diese starke Aenderung der Lage der Axen bestätigt gefunden, und Rudberg hat noch bei mehrern Krystallen die mit der Aenderung der Temperatur eintretende Aenderung der doppelten Brechung untersucht [4].

89. Es ist nun noch übrig zu zeigen, in welchem Zusammenhange die Farben der dünnen Gypsblättchen und anderer Platten, die nicht senkrecht gegen die Axe geschnitten sind, mit diesen Farbenringen stehen. Diese Verbindung zeigt sich schon, wenn man so dünne, ungefähr senkrecht auf die Axe geschnittene Platten nimmt, dafs die Ringe sehr grofs werden müfsten, indem man da nicht mehr deutlich begrenzte Ringe, sondern breit ausgedehnte Farbenstreifen bemerkt, und diese bleiben auch dann sichtbar, wenn die Axe weit von der senkrechten Richtung abweicht, und einen schiefen Winkel mit der Platte macht, ja endlich in der Ebene der Platte liegt, wie se bei dem blätterigen Gyps der Fall ist.

Um aber nun doch auch die wichtigsten Erscheinungen anzuführen, wie sie sich bei verschiedener Neigung solcher

---

1 Brewster Phil. Magaz. 1832. Dec. 419.
2 Poggend. VIII. 520.
3 Vgl. Art. *Brechung* S. 1192.
4 Poggend. XXVI. 291.

dünner Platten, deren Axe geneigt gegen die Ebene der Platte ist, ergeben, will ich die Farben-Erscheinungen, wie Glimmerplatten (*Mica*) sie zeigen, nach Herschel's Darstellung beschreiben. Dieser aus dünnen durchsichtigen Tafeln bestehende Körper hat zwei optische Axen, die beide gleich gegen die Platten geneigt sind. Läſst man Strahlen unter 54° 57′ gegen die Ebene der Platte geneigt (oder unter dem Einfallswinkel = 35° 3′) auffallen, und dreht dann die Platte in ihrer Ebene, so findet man eine Stellung, bei welcher ein polarisirt auffallender Strahl durch die Platte geht, ohne irgend seine Polarisation zu ändern, und wenn man die Stellung, wo dieses statt findet, bemerkt, und die Platte um 180° dreht, so findet eben dieses abermals statt. Die senkrechte Ebene also, welche durch die so bezeichnete Linie geht, enthält zwei optische Axen, die in ihr so liegen, daſs die Strahlen, welche ihrer Richtung folgend durch die Platte gegangen sind, unter den angegebenen Winkeln geneigt hervorgehn; und wenn man berechnet, in welcher Richtung diese Strahlen im Innern fortgehn muſsten, so giebt der Einfallswinkel = 35° 3′, bei dem Brechungsverhältnisse, welches sehr nahe $\frac{3}{2}$ ist, fast genau 22° 30′ für den Brechungswinkel, und beide Axen sind also 45° gegen einander und 67°,5 gegen die Ebene der Oberfläche der Glimmerplatte geneigt. Jene Linie, welche die senkrechte Ebene bezeichnet, in der die zwei Axen liegen, wird hier offenbar der *Hauptschnitt* heiſsen müssen.

Setzt man die Glimmerplatte so dem polarisirten Strahle aus, daſs er nach der Richtung einer der optischen Axen durchgeht, und bringt man hierauf das Auge mit einer vor demselben gehaltenen Turmalinplatte, deren Axe der ursprünglichen Polarisations-Ebene parallel ist, nahe an die Glimmerplatte, so zeigen sich um den schwarzen Fleck, welcher der Richtung der Axe entspricht, die Farbenringe, die wir umständlich betrachtet haben. Sie sind deutlich als oval geformt, als etwas ausgebreiteter gegen die andere Axe zu, kenntlich, wenn die Platte nicht zu dünn ist; dagegen wenn dieses der Fall ist, erscheinen sie sehr ausgebreitet. Doch bei diesen will ich nun nicht länger verweilen, da sie mit den bisher betrachteten Ringen übereinstimmen.

90. Diese Platte, die nicht viel über $\frac{1}{4}$ Linien dick seyn muſs, läſst sich nun aber gebrauchen, um die sehr verwickelt

scheinenden Phänomene zu übersehn, die sich bei ungleicher Neigung gegen den Lichtstrahl darbieten. Daſs man sich eines horizontalen Glases, um durch Spiegelung einen in der Vertical-Ebene polarisirten Strahl hervorzubringen, und eines mit der Axe vertical gestellten Turmalin's vor dem Auge bedient, um die Erscheinungen zu beobachten, versteht sich von selbst.

Um zuerst jenen Hauptschnitt der Glimmerplatte zu finden, läſst man den Strahl senkrecht auf die Platte fallen, und dreht sie in ihrer Ebene, bis man die bei andern Stellungen erscheinenden Farben verschwinden sieht. Die Linie in der Platte, die sich dann in der ursprünglichen Polarisations-Ebene befindet, bezeichnet entweder den Hauptschnitt selbst, oder ist auf ihn senkrecht; denn man findet zwei auf einander senkrechte Linien, die jede in die Polarisations-Ebene gestellt werden können, um die Farben verschwinden zu machen und die Erscheinung auf eben das, was ohne Glimmerplatte statt fand, zurückzuführen. Stellt man die noch immer gegen den Strahl senkrechte Platte in eine Mittelstellung, so daſs jene zwei Linien 45° gegen die Polarisations-Ebene geneigt sind, so ist die Farben-Erscheinung, die bei der Drehung in der Ebene ihre Farbe nicht ändert, am glänzendsten.

Um nun zu entscheiden, welche jener zwei auf der Glimmerplatte bezeichneten Linien der Hauptschnitt ist, muſs man die Erscheinungen beobachten, während man die Neigung gehörig ändert. Man stellt nämlich zuerst die senkrecht gegen den Strahl gehaltene Platte so, daſs jene beiden Linien 45° mit der Polarisations-Ebene machen; man läſst dann die eine jener bezeichneten Linien als Drehungs-Axe der Platte in ihrer Stellung bleiben, während man die Platte um sie dreht, und sieht nun zwei wesentlich verschiedene Reihenfolgen veränderter Farben, jenachdem die ruhende Linie der Hauptschnitt ist oder nicht. Ist die festgehaltene Linie die dem Hauptschnitte selbst entsprechende, so sieht man, je mehr die Platte von der senkrechten Stellung abweicht, desto mehr die Farben hervortreten, die in den Newton'schen Farbenringen den entferntern Ringen entsprechen, oder die Farben steigen in der Newton'schen Skale und gelangen endlich zum Weiſs. Hätte die Platte schon bei der senkrechten Stellung sich farbenlos

(weiſs) gezeigt, so wären bei *dieser* Aenderung der Neigung gar keine Farben zum Vorschein gekommen, und dieses ist bei zu dicken Platten der Fall. Ist dagegen die Linie, um welche man die Drehung ausführt, nicht die den Hauptschnitt bezeichnende, so bemerkt man bei allmäliger Drehung von der senkrechten Lage an, daſs zuerst die Farben der dem Mittelpuncte näheren Newton'schen Farbenringe hervortreten oder daſs die Farben in der Skale absteigend hervorgehn, und wenn der Strahl 35° 3′ gegen das Einfallsloth geneigt ist, die Dunkelheit sich ebenso zeigt, als ob die Platte nicht da wäre, oder das Schwarz im Centrum der Newton'schen Ringe sich darstellt. Dieses verräth uns, daſs wir nun den nach der Richtung der Axe durchgehenden Strahl empfangen, und es erhellet leicht, daſs bei gröſserer Neigung die Farben in der zu entferntern Ringen fortgehenden Ordnung wieder hervortreten müssen.

Diese ganze Erscheinung ist jetzt leicht verständlich. Indem wir von der Stellung, da der Strahl durch die Axe geht, abweichen und gegen die mehr senkrechte Richtung des Strahls zu gehn, durchlaufen wir die bei einem zweiaxigen Krystalle um die Axe entstehenden Ringe nach der Mitte zu, und würden, wenn wir bis über die senkrechte Richtung des Strahls hinausgehn, in die der andern Axe gehörigen Ringe hinein und endlich bis zu dieser selbst gelangen; gehn wir dagegen abermals von eben der Stellung aus und zu Neigungen über, die weiter von der senkrechten Richtung des Strahls abweichen, so durchlaufen wir die Ringe, die vom Mittelpuncte ab liegen, wo wir dann endlich zum Weiſs gelangen. Es läſst sich nun wohl voraussehn, wie verwickelt die Erscheinungen dem vorkommen müssen, der ohne Kenntniſs jener Axen die Platte in allerlei Stellungen gegen den einfallenden Strahl bringt; aber es erhellt auch, daſs man bei einer jeden Stellung der Platte die nothwendig hervorgehende Farbe berechnen kann, wenn man nicht bloſs den Winkel kennt, den der Strahl mit der einen Axe macht, sondern auch die Richtung weiſs, in welcher man die Farbenringe durchschneidet, oder wenn man die Winkel ϑ und ϑ' kennt, die der Strahl mit beiden Axen macht.

Hieraus wird dann auch vollkommen klar, wie man aus Beobachtung der Stellung der Platte, bei welcher im homogenen Lichte die Farbe des ersten hellen Ringes, die Farbe des

zweiten hellen Ringes, die Dunkelheit zwischen diesen oder den folgenden Ringen u. s. w. erscheint, die Formeln prüfen kann, die wir früher für das Product Sin. ϑ. Sin. ϑ' angaben. Diese Winkel nämlich lassen sich aus der bekannten Stellung der Platte berechnen, und die Werthe von n müssen dann für homogene Strahlen in der oben angegebnen Ordnung hervorgehn, und für gemischte, aus dem Weifs hervorgehende, Strahlen mufs sich dann ergeben, ob n sich von Farbe zu Farbe so ändert, wie wir es nach der Newton'schen Tafel erwarten. Hieraus werden Herschel's Versuche über die Abweichung von der Newton'schen Skale, die oben angeführt, aber auf diese Weise bei verschiedenen Neigungen angestellt sind, vollkommen verständlich [1].

VII. Ueber die Bestimmung derjenigen Axen in den Krystallen, von denen ursprünglich die Einwirkung auf Polarisation und doppelte Brechung abhängt.

91. Wenn die optischen Axen der Krystalle in allen Fäl-

1 Da es unmöglich ist, hier alle nur auf einzelne Gegenstände gehende Untersuchungen umständlich anzuführen, so will ich doch wenigstens folgende Abhandlungen ihrem Titel nach erwähnen. — Marx über optische Erscheinungen in unterschwefelsauren Salzen. Schw. Jahrb. XVII. 236. Marx über die optische Structur des Amethyst. Schw. Jahrb. XXXI. 1. Marx über Arragonite und Glimmer. Poggd. VIII. 243. v. Kobell über die Eigenschaft des Glimmers und Gypses, das Licht zu polarisiren. Poggd. XX. 342. 412. Brewster über die eigenthümliche Art der Polarisation bei Perlmutter, die nicht mit der bei krystallisirten Körpern übereinstimmt, aber sich auch von der Polarisation bei andern unkrystallisirten Körpern unterscheidet. Phil. Tr. 1814. 416. Herschel's neue das Perlmutter betreffende Untersuchungen in dem Edinb. Phil. Journ. III. 114. Marx über die Krystallisation des Wassers, Schw. Jahrb. XXIV. 426., wo gezeigt wird, dafs die Krystallform desselben rhomboedrisch ist. Brewster über die optischen Eigenschaften des kohlensauren Baryt's u. s. w. in den Edinb. Phil. Transact. VII. 285. Brewster über die doppelte Strahlenbrechung des Analcim. Edinb. philos. Journ. Nr. XX. p. 255. und Baumgärtners Zeitschrift. II. Brewster über die optische Structur der Lithion-Mica in d. Edinb. Journ. of Science II. 205. Erman über die epoptischen Figuren des Arragonits ohne vorläufige Polarisation. Poggend. XXVI. 302.

len entweder in Beziehung auf die Gestalt des Krystalls selbst oder in Beziehung auf die Theilchen, aus denen wir ihn als zusammengesetzt anzusehn Grund haben, so bestimmt an die Hauptlinie des Krystalls geknüpft wären, wie es bei dem Doppelspathe der Fall ist, so würden wir wohl kein Bedenken tragen, die Axe, welche wir als Axe des Krystalls und als optische Axe zugleich anerkennen, auch als diejenige anzusehn, in welcher wir den Grund aller dieser Erscheinungen der doppelten Brechung und Polarisation zu suchen haben. Aber diese Uebereinstimmung zwischen den Linien, die im Krystalle als die merkwürdigsten hervortreten, und den optischen Axen ist keineswegs allgemein, und da in zweiaxigen Krystallen sogar die optischen Axen für jeden Farbenstrahl eine andere Lage haben, so bietet sich der Gedanke sehr natürlich dar, dafs diese optischen Axen, um mit Brewster zu reden, nur *resultirende Axen* sind, in welchen die, eigentlich von andern Axen ausgehende, Einwirkung auf ähnliche Art vereinigt gedacht werden kann, wie die Richtung mehrerer Kräfte in der Richtung der äquivalenten Mittelkraft.

Diese Ansicht findet in Fresnel's Undulationstheorie eine sehr wichtige Bestätigung, da nach dieser die doppelte Brechung davon abhängt, dafs die Elasticität des Aethers in den Körpern nicht nach allen Richtungen gleich ist. Da ich aber diese theoretischen Untersuchungen, die sich an das ganze System der Undulationstheorie anknüpfen, besser einem andern Artikel[1] vorbehalte, so begnüge ich mich hier, von Brewster's über diese eigentlich wirksamen Axen aufgestellte Theorie einen Begriff zu geben.

Brewster glaubt, diese ruhe auf rein mechanischen Gründen[2]. Ob man ihm dieses zugestehn darf, mögte ich bezweifeln, und das Hypothetische in der Theorie ist ihm auch nicht blofs von Biot vorgeworfen[3], sondern auch Herschel scheint es dadurch, dafs er die Grundlagen dieser Theorie als *Postulate* aufführt, andeuten zu wollen[4]. Die eine Grund-

1 S. Art. *Undulationstheorie.*

2 Phil. Tr. 1818. 240. Vgl. die Darstellung dieser Theorie von Marx. Schw. Journ. XXVII. 129. XXVIII. 145.

3 Mém. de l'acad. royale. 1818. Tome. III. p. 194. 216. 224. 226.

4 Vom Lichte §. 1021 bis 1025.

lage dieser Theorie kann allerdings wohl als empirisch gelten, nämlich dafs die Wirkung einer solchen Axe, von welcher anziehende oder abstofsende Kräfte ausgehn, als $\text{Sin.}^2 \vartheta$ proportional kann angesehen werden, wenn ϑ der Winkel ist, den der Strahl mit der Axe macht; aber das zweite als Grundlage dienende Theorem kann nur dadurch das Urtheil für sich gewinnen, wenn es in seinen fernern Resultaten mit der Erfahrung übereinstimmt; an sich selbst ist es wohl nicht so einfach, dafs es als Grundsatz gelten könnte, wenn es gleich im Ausdrucke einem bekannten statischen Lehrsatze ähnlich ist. Dieser zweite Satz heifst: die Wirkung zweier Axen auf einen Strahl wird gefunden, wenn man die Wirkung jeder Axe einzeln und den Winkel berechnet, den die durch den Strahl und jede Axe gelegten Ebenen mit einander machen, und wenn man dann die Diagonale eines Parallelogrammes berechnet, in welchem jene Kräfte die Seiten sind und der eingeschlossene Winkel doppelt so grofs als der eben genannte Winkel. Diese Diagonale stellt die vereinte Wirkung beider Axen dar.

92. An diese Voraussetzung schliefsen sich leicht folgende Sätze an. Es sey ABC ein auf der Kugel gezeichnetes aus drei Quadranten gebildetes Dreieck. Im Mittelpuncte der Kugel treffen der Strahl und die einwirkenden Axen zusammen; dann läfst sich, wenn G der Endpunct der resultirenden Axe ist, das Verhältnifs der Kräfte bestimmen, die von zwei gegebenen Axen ausgehn müssen, damit in G ein Gleichgewicht der Kräfte sey. Es sey zuerst die Axe A sowohl als auch C eine zurückstofsende, und die Kraft jener $= p$, dieser $= p'$, so ist für einen von G nach dem Mittelpuncte gehenden Strahl die von A wirkende Kraft $= p$, weil $AG = 90°$, die von C wirkende Kraft $= p'.\ \text{Sin.}^2\, GC$, und die Ebenen AG, CG machen einen rechten Winkel mit einander. Nach jenem Gesetze des Parallelogrammes also, das hier einen Winkel von 180° erhält, findet das Gleichgewicht statt, wen $p' = \frac{p}{\text{Sin.}^2\, GC}$ ist. Sind A und B positive Axen, anziehend wirkende, so mufs die Kraft der Axe B, $p'' = \frac{p}{\text{Cos.}^2\, GC}$ seyn; sind B, C die zwei wirkenden Axen, und ist die eine positiv, die andre negativ, so mufs $p'.\text{Sin.}^2\, GC = p''\, \text{Cos.}^2\, GC$ seyn. Hier ist ganz klar, dafs die Einwirkung beider Axen in G in allen drei Fällen

Fig. 109.

gleich ist, aber dieses würde nur Gleichheit des Werthes von nh (in nr. 74.) oder Gleichheit der Farbe ergeben, wenn wir es auf jene Bedeutung beziehen, und die Behauptung, daſs eben darum auch die Farbe = o oder nh = o hervorgehe, und hier eine optische Axe sey, scheint mir nicht deutlich.

Nimmt man aber jene Grundsätze an, so erhellet allerdings, daſs man die in irgend einem Puncte E statt findende resultirende Kraft finden kann, wenn B und C Axen von gegebener Intensität sind. Denn es läſst sich dann die von beiden Puncten B, C her wirkende Kraft $= p''. \text{Sin.}^2\, BE$ und $= p'. \text{Sin.}^2\, CE = p''. \text{Cotang.}^2\, GC. \text{Sin.}^2\, CE$, finden, und auch der Winkel BEC, womit alle Stücke des Parallelogrammes der Kräfte gegeben sind. Die Zahl, die sich, bei gehöriger Bestimmung der Diagonale, dann ergäbe, würde den Werth von nh für den Punct E und folglich, in Beziehung auf unsere frühern Betrachtungen, die in E sich zeigende Farbe bestimmen.

93. Hieran knüpft Brewster die wichtigen Folgerungen über die Substitution zweier Axen statt einer, oder einer statt zweier. Sind nämlich A, B, C drei auf einander senkrechte Axen, so beweiset er nach den eben erklärten Gründen, daſs zwei positiv oder anziehend wirkende Axen B und C, wenn ihre Wirkungen = p sind, auf jeden Punct eben die Wirkung hervorbringen, welche die *eine* gegen beide senkrechte Axen hervorbringen würde, wenn ihre Kraft negativ, und ebenfalls = p ist. Die Zahl nämlich, die nach jenem Rechnungsprincip hervorgeht, ist in beiden Fällen gleich. Diese Substitution zweier Axen statt einer, welche uns in den Erscheinungen als resultirende Axe, als optische Axe, angedeutet wird, führt nun allerdings zu der Ansicht, daſs wir nicht gerade genöthigt sind, die auf die Polarisirung des Strahls wirkende Axe da zu suchen, wo die mit den Hauptlinien des Krystalls nicht zusammen treffenden optischen Axen sie uns anzugeben scheinen. Ja es kann sich, wie Brewster bemerkt, wohl ereignen, daſs da, wo drei auf einander senkrechte Axen sind, diese ihre Wirkung völlig zerstören, welches nämlich dann statt finden müsse, wenn alle drei Axen mit gleicher Kraft und alle entweder positiv oder negativ wirken; denn da zwei gleiche positive, auf einander senkrechte Axen einer eben so starken auf beide senkrechten negativen Axen gleich wirkend sind, so wird durch sie

die Kraft dieser dritten Axe, wenn sie an sich positiv und ebenso grofs ist, zerstört. Darauf scheine es zu beruhn, dafs die Krystalle, deren primitive Form der Cubus oder das reguläre Octaeder, oder das Rhombendodecaeder ist, gar keine doppelte Brechung zeigen, und dafs eine schwache polarisirende Wirkung zuweilen übrig bleibe, wenn jenes Gleichgewicht nicht vollkommen statt findet. Und hierbei ist es allerdings merkwürdig, dafs nur die eben angeführten Krystallformen drei ganz bestimmte, auf einander senkrechte, Axen haben, die im Würfel die Mittelpuncte der gegenüberstehenden Seiten, im Octaeder die einander gegenüberstehenden körperlichen Ecken, und im Rhombendodecaeder die sechs körperlichen Ecken verbinden, die von vier spitzen Winkeln eingeschlossen sind.

In den einaxigen Krystallen fällt, wie Brewster bemerkt, die optische Axe immer mit einer durch die Krystallform deutlich bezeichneten Linie zusammen; bei den zweiaxigen dagegen ist diese Uebereinstimmung nicht deutlich. Als ein Beispiel aber, dafs man auch bei *einer* anscheinend nur vorhandenen optischen Axe veranlafst werde, an mehrere Axen zu denken, führt Brewster den Apophyllit an, dem man drei auf einander senkrechte Axen, jede mit einer andern Zerstreuungskraft, zuschreiben müsse. Ebenso müsse man im Glauberit annehmen, dafs bei bestimmter Wärme nur *eine* Axe auf die Strahlen einer Art, zwei Axen auf die übrigen Strahlen wirken[1].

94. Diesen hypothetischen Ansichten von der Substitution zweier Axen statt einer u. s. w. hat Biot eine, wie es scheint, wichtige Bemerkung beigefügt. Er sagt, die von Brewster aufgestellte Behauptung, dafs seine Ansicht sich als so sehr gut den einzelnen Erscheinungen entsprechend bewähre, habe ihn bewogen, dem Zusammenhange zwischen diesen verwickelt dargestellten empirischen Gesetzen der Brewster'schen Theorie und einfachern Gesetzen nachzuforschen, und so habe er gefunden, dafs das Gesetz, dafs Sin. ϑ. Sin. ϑ' in unsern obigen Ausdrücken die Farbe bestimmen, als der einfache Grund jener verwickelten Darstellung hervorgehe, und es zeige sich

1 Schweigg. Jahrb. XXVI. 320., wo auf Edinb. Transact. IX 317. verwiesen wird.

dann noch mehr im Einzelnen, welche Lage man den Brewsters'chen Axen beilegen dürfe, und welche nicht [1].

95. Biot selbst hat seinen theoretischen Untersuchungen eine andre Richtung gegeben. Er geht von der Betrachtung aus, dafs für einaxige Krystalle der Unterschied der Quadrate der Geschwindigkeiten beider Strahlen durch $k. \text{Sin.}^2 \vartheta$ dargestellt werde, und dafs man also für zweiaxige Krystalle, wenn ϑ, ϑ' die Winkel des Strahls mit beiden Axen sind, jenen Unterschied wohl auch als eine zum zweiten Grade gehörige Function von $\text{Sin.}\,\vartheta$ und $\text{Sin.}\,\vartheta'$ anzusehen veranlafst sey. Wollte man aber dieser Function ihre allgemeinste Form $l. \text{Sin.}^2 \vartheta + m \,\text{Sin.}\,\vartheta.\ \text{Sin.}\,\vartheta' + n.\ \text{Sin.}^2 \vartheta'$ geben, so würde in der einen optischen Axe, wo zwar $\vartheta = o$, aber nicht ϑ' auch $= o$ ist, ein Unterschied der Geschwindigkeiten statt finden, welches gegen die Erfahrung ist; und da ebenso in der andern Axe die Geschwindigkeiten gleich sind und keine Spaltung des Strahls statt findet, so kann nur das einzige Glied der zweiten Ordnung $m. \text{Sin.}\,\vartheta.\ \text{Sin.}\,\vartheta'$ vorkommen. Um nun die Richtung des gebrochenen Strahls zu bestimmen, nimmt er, ebenso wie es Laplace für Krystalle mit *einer* Axe that, das Princip der kleinsten Wirkung zu Hülfe, und findet so eine Formel, welche die Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strahls vermittelst der bekannten Lage der Axen und des einfallenden Strahls ausdrückt. Diese Formeln müssen nun auch umgekehrt die Lage der optischen Axen angeben können, wenn man aus Beobachtungen die Richtung der beiden gebrochenen Strahlen kennt, ohne noch die Lage der Axen zu kennen. Nach Biot's Vergleichungen mit seinen höchst sorgfältig angestellten Versuchen hat sich diese Theorie als mit den Versuchen übereinstimmend gezeigt, und er giebt für die Richtung der Polarisation des Strahls folgende Regel an. Man lege durch den gewöhnlich gebrochenen Strahl und jede der optischen Axen eine Ebene, so ist er polarisirt in einer Ebene, die zwischen jenen beiden in der Mitte liegt; man lege durch den zweiten Strahl und jede der Axen eine Ebene, so ist er polarisirt senkrecht gegen eine Ebene, die zwischen beiden Ebenen in der Mitte liegt. Diese Regel, von der wir in nr. 85 Gebrauch machten, glaubt er, zeige alle die Verschiedenheiten der Far-

1 Mém. de l'Acad. III. 237.

benlinien, die Richtung der sie durchschneidenden dunkeln Linien u. s. w.[1]. Alle Erscheinungen würden dadurch mit geometrischer Strenge dargestellt.

VIII. Farben-Erscheinungen in Glase und andern nicht krystallisirten Körpern.

96. Nach den bisher mitgetheilten Erfahrungen und theoretischen Betrachtungen sollte man erwarten, dafs Krystalle mit drei auf einander senkrechten Axen und unkrystallisirte Körper, da sie zur doppelten Brechung unfähig sind, auch keine Erscheinungen der Depolarisation, keine Farben u. s. w. darstellen würden. Gleichwohl fand Brewster bei Flufsspath, Kochsalz und Diamant, wo hiernach keine doppelte Brechung statt finden sollte, Farben-Erscheinungen. An seine Beschreibung dieser Erscheinungen[2] knüpft er folgende Bemerkung. Diese Körper scheinen in demselben Stücke zuweilen drei verschiedene Structuren zu verbinden, indem sie an einigen Stellen so wirken, wie es die Körper thun, deren Axen man eine attractiv wirkende Kraft zuschreibt, an andern Stellen so, wie die repulsiv wirkenden; in den zwischen liegenden Theilen zeigen sie gar keine Wirkung, die auf doppelte Brechung schliefsen liefse. Die Kräfte, welche die Bildung der Krystalle bewirken, scheinen also nach solchen Gesetzen zu wirken, dafs in diesen Fällen eigentlich genaue Cuben, Octaeder u. s. w. hervorgehen sollten; bei der geringsten Störung dieser Wirkung aber mögen Abweichungen von jener Form und zwar bald übergehend in die attractive (positive) bald in die repulsive (negative) Classe statt finden. Diese Erfahrung von einer solchen nach beiden Seiten hin statt findenden Abweichung bestätigte also die Ansicht, dafs die jedem Minerale eigene primitive Structur die doppelte Strahlenbrechung und die Classe bestimme, wozu das Mineral gehöre.

97. Noch merkwürdiger aber ist die Erscheinung regelmäfsiger Farbenringe oder Farbenlinien im Glase. Seebeck und Brewster haben diese unabhängig von einander entdeckt, und diese Figuren haben den Namen der *Seebeck'schen*

---

1 Mém. de l'Acad. III. 233. 234.

2 Th. Transact. of the Edinb. Soc. VIII. 157.

Figuren erhalten. Seebeck machte nämlich die Bemerkung, daſs manche Gläser, wenn sie zwischen den beiden Spiegeln des Polarisations-Instruments gehalten werden, mehr oder minder deutlich im zweiten Spiegel ein schwarzes Kreuz mit Farbenbogen darstellen, wenn die Reflexions-Ebenen der Spiegel auf einander senkrecht sind[1]. Dicke Gläser schienen für die Erscheinung angemessener; aber selbst unter zwei anscheinend gleichen Gläsern fand sich zuweilen das eine Farben gebend, das andere nicht, und die Umstände, worauf dieses beruhet, schienen sich nicht leicht bestimmen zu lassen, bis endlich der Umstand, daſs ein Figuren zeigendes Glas beim Zerschneiden völlig in kleine Stücke zersprang, während ein anderes Glas von derselben Art sich gut schneiden lieſs, einen befriedigenden Aufschluſs über diese Ungleichheit gab. Die plötzlich abgekühlten Gläser haben bekanntlich die Eigenschaft, wegen ihrer groſsen Sprödigkeit leicht in kleine Stücke zu zerspringen, und es lieſs sich also nun wohl schlieſsen, daſs die zu schnell abgekühlten Gläser die Figuren zeigenden wären. Versuche mit Springkölbchen bestätigten diese Vermuthung, und eigene Versuche, wo Gläser, die keine Figuren gezeigt hatten, diese Eigenschaft erhielten, nachdem sie glühend gemacht und an freier Luft abgekühlt waren, setzten es auſser Zweifel, daſs man dem Glase diese Eigenschaft so ertheilen könne. Wurde die glühende Glasscheibe mit einer an den Spitzen glühenden Zange zwischen den Spiegeln gehalten, so sah man keine Farben im Spiegel; aber schon während des Abkühlens entstand zuerst an der von der Zange am meisten entfernten Ecke, dann an beiden andern Ecken, zuletzt an der Ecke, wo die Zange das Glas faſste, ein heller Punct, der sich nach und nach erweiterte und ein schwarzes Kreuz übrig lieſs; in dem hellen Raume traten zuweilen auch Farben von Weiſs umgeben hervor. Wurde ein Figuren zeigendes Glas glühend gemacht und langsam abgekühlt (unter glimmenden Kohlen in einem Ofen), so hatte es jene Eigenschaft verloren.

Schwächer erhitzte und an der Luft abgekühlte Glasscheiben zeigten einzeln keine Figuren, sondern man muſste

---

1 Schweigg. Journ. VII. 284. und XII. 1. Arago hatte eine oberflächliche Beobachtung hierüber schon früher gemacht. Gilb. XL. 156.

mehrere auf einander legen, um wenigstens einigermaſsen das schwarze Kreuz zu erkennen.

98. Die Figuren selbst bestimmte auch Seebeck schon für verschiedene Formen der Gläser. Sind es quadratische Gläser, welche, ohne daſs die eine Seite schneller als die andre gekühlt ist, diese Eigenschaft erlangt haben, und die man dem polarisirten Strahle so aussetzt, daſs die Seiten mit der Polarisations-Ebene des aus dem ersten Spiegel polarisirt hervorgehenden Strahls parallel oder auf dieselbe senkrecht sind, so sieht man im zweiten, auch auf den Polarisationswinkel gestellten Spiegel, wenn die Reflexions-Ebenen beider auf einander senkrecht sind, folgendes. In allen schnell gekühlten Gläsern zeigt sich mitten ein schwarzes Kreuz, dessen Arme den Seiten des Glases parallel, also mit der ersten Reflexions-Ebene parallel und darauf senkrecht sind. Diese Gegenden des Glases ertheilen also dem durch das Glas gehenden Lichte nicht die Fähigkeit, vom zweiten Spiegel reflectirt zu werden, die vier Felder an den Ecken des Glases zeigen sich dagegen hell, und in ihrer Mitte sind farbige Flecke, so daſs das dort durchgegangene Licht entweder gänzlich oder doch in Beziehung auf gewisse Farben depolarisirt, der Zurückwerfung fähig geworden ist. Wenn nur *eine* Glasplatte von einigen Linien dick angewandt wird, so erscheinen beinahe in der Mitte jedes Feldes bräunliche Flecken; aber wenn man zwei gleiche Gläser auf einander legt, so tritt meistens schon ein bläulicher, rundum mit braun und einem gelblichen Rande umgebener Fleck hervor. Bringt man mehrere gleiche quadratische Gläser mit den Rändern auf einander passend in den polarisirten Strahl, so treten immer neue Farben aus jenen Farbenflecken hervor und es zeigt sich je mehr und mehr deutlich, daſs das schmaler gewordene, nun mit einem bläulichen Rande eingefaſste, schwarze Kreuz gegen jeden jener Mittelpunkte zu sich an eine Farbenreihe anschlieſst, die der Newton'schen Farbenreihe entspricht. Das schwarze Kreuz selbst stimmt mit dem schwarzen Flecke in den Newton'schen Farbenringe überein, es ist mit einem bläulichen Rande umgeben, der in Weiſs übergeht und dieses Weiſs ist an der andern Seite mit einem gelben und rothen Bogen begrenzt; die folgenden Farbenbogen bieten, gegen ihren Mittelpunct zu fortschreitend, fast strenge die Newton'sche Farbenfolge dar, welche bei Newton's Farbenringen

in entgegengesetzter Ordnung vom Mittelpuncte aus sich folgen. Je dicker das Glas ist, oder je zahlreicher die zusammengelegten Gläser sind, desto mehr Farbenbogen und ganze Farbenringe sieht man um jene gegen die Ecken zu liegenden Mittelpuncte, und desto mehr gehört die in den Mittelpuncten selbst sich zeigende Farbe einem entfernteren Farbenringe der Newton'schen Farbenfolge, einer Farbe höherer Ordnung, an.

Diese Figuren ändern sich zwar, wenn man die Glasplatte in ihrer Ebene dreht, aber sie hängen so sehr von der äufsern Form und Begrenzung der Gläser ab, dafs wenn man jene quadratische Platte in vier Quadrate zerschneidet, jedes wieder in der Mitte das Kreuz und ganz dieselben Figuren darbietet. Jene Mittelpuncte der Farbenringe, die man allenfalls mit den Polen der Farbenringe in Krystallplatten vergleichen möchte, wenn hier nicht die entgegengesetzte Ordnung der Farben statt fände, entsprechen also nicht, wie bei den Krystallen mit zwei Axen, einer gewissen Neigung des zum Auge gelangenden Lichtstrahls[1]. Wenn man dem Glase dreieckige oder andere Gestalten giebt, so zeigt sich auch da die Abhängigkeit von der Form des Glases, statt dafs bei den Farbenringen in den Krystallen auf diese Form der Platten nichts ankommt.

99. Brewster gelangte durch eine andere Reihe von Erfahrungen zur ersten Kenntnifs von diesen Figuren, setzte aber dann die Untersuchung mit seiner so oft bewiesenen Beharrlichkeit und mit grofsem Scharfsinn viel weiter fort, als Seebeck. Er bemerkte, dafs ein bis zum Glühen erhitzt gewesenes Glas das Licht während des Abkühlens depolarisire, aber nachher diese Eigenschaft nicht mehr zeige. Da er aber vermuthete, bei sehr schneller Abkühlung möge diejenige Structur des Glases dauernd bleiben, wodurch die Depolarisirung bewirkt wird, so machte er den Versuch mit Glastropfen, die schnell gekühlt waren, und fand sie, besonders in der Nähe des Fadens, als sehr geeignet, die Erscheinungen der Depolarisirung zu zeigen[2]. Diese Bemerkungen waren indefs nur die Einleitung zu einer langen Reihe sehr sorgfältiger

---

1 Brewster bemerkt, dafs der Analcim sich in dieser Hinsicht einigermafsen ähnlich zeigt, und sich von andern Krystallen unterscheidet. Edinb. Ph. Tr. X. Baumgartners Zeitschr. II. 28.

2 Ph. Tr. 1814. 436.

Versuche, aus denen die wichtigsten Folgerungen hervorgingen.

100. Es wurde[1] der eine Rand einer rechtwinkelig viereckigen Glasplatte auf eine glühende Eisenstange gesetzt, ein polarisirter Strahl ging senkrecht durch die Platte, und wenn man diesen Strahl mit Hülfe eines zweiten, auf den Polarisationswinkel gestellten Spiegels, dessen Reflexions-Ebene senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisations-Ebene war, beobachtete, so zeigten sich Farben-Erscheinungen. Diese zeigten sich indefs nicht, wenn die der schnellen Erhitzung ausgesetzte Seite der Glasplatte einen Winkel von 0° oder 90° mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene machte, sondern traten nur bei andern Lagen und am schönsten, wenn dieser Winkel 45° betrug, hervor. Nachdem die Platte eine Weile der ungleichen Erhitzung ausgesetzt war, zeigte sich die Glasplatte in drei mit der erhitzten Seite parallele Felder getheilt, indem zwei schwarze Streifen, welche verschiedene Farbensysteme trennten, mit jener Seite parallel wahrgenommen wurden. In dem Felde, welches an die erhitzte Seite grenzte und in dem gegenüber stehenden, von jener am meisten entfernten, Felde zeigen sich einerlei Farben, und zwar so, dafs vom schwarzen Streifen nach den Rändern zu sich die Farben so folgen, wie in den Newton'schen Farbenringen, wenn man von dem Schwarz in der Mitte ausgeht. In dem mittlern Felde findet sich eben diese Farbenfolge, wenn man von jedem der schwarzen Streifen gegen die Mitte des Feldes geht. Ist die Platte nur ebenso lang oder wenig länger, als die glühende Eisenstange, an welcher sie ihrer Länge nach anliegt, so verbinden sich mit jenen Streifen noch schwarze Endstreifen, die das mittlere Feld nahe an beiden Enden der Platte senkrecht begrenzen, und in den beiden Seitenfeldern gegen die vier Ecken zu fortlaufen, wie die Zeichnung dieses darstellt. Was jene mit der erhitzten Seite parallelen Streifen betrifft, so ist der Gang ihres Entstehens bei der zunehmenden Erwärmung der Platte folgender. Zuerst zeigt sich fast gleichzeitig an der erhitzten Seite AB und an CD eine nach der Mitte zu vorrückende weifse Welle, die das Schwarz des vorhin dunkel erscheinenden Glases vor sich hertreibt. Ihnen entgegen breitet

Fig. 110.

Fig. 110.

1 Ph. Tr. 1816. 46.

sich eine weiſse Welle von der Mitte EF her aus, und diese drängen gleichsam das Schwarz in den in der Figur angezeigten, die drei Felder trennenden schwarzen Linien zusammen. Eine gelbe Welle, dann eine orangefarbene, dann eine rothe drängen sich hierauf von der erhitzten Seite AB vorwärts, und ihnen folgen die Farben der zweiten und der höheren Ordnungen, zuweilen bis zur zehnten Ordnung, in dem an AB anliegenden Felde. Später gehn eben diese Farbenfolgen von CD aus, und auch von der Mitte EF gehn solche Farbenwellen gegen die schwarzen Linien zu. Aber nie verdrängt die gelbe Welle das Weiſs ganz, nie das Orange ganz das Gelb u. s. w., sondern es bildet sich vom Schwarz an die Farbenſolge gegen die Mitte und gegen beide Ränder zu. Diese Zunahme der Farbenstreifen dauert aber nur eine Zeit lang; sobald die Erhitzung der Glasplatte sich der Gleichförmigkeit nähert, vermindert sich, vorzüglich in dem Felde zunächst an AB, die Anzahl der Streifen, später vermindert sie sich auch in den übrigen Feldern, und endlich verschwinden selbst die schwarzen Streifen, wenn die Erwärmung der Gleichförmigkeit nahe kommt. Beschleunigt man, nachdem diese eingetreten ist, die Abkühlung an dem einen Rande der Platte durch ein daran gehaltenes kaltes Eisen, so treten ähnliche Erscheinungen ein. Sind die Platten schmal, so sind die beiden äuſsern Felder nicht sehr ungleich, sind die Platten über zwei Zoll breit, so ist das erhitzte Feld schmaler und mit enger an einander liegenden Farbenstreifen geziert, als das an der andern Seite, und auch das mittlere Feld ist in zwei ungleiche Hälften durch die Linie getheilt, welche die Farbe der höchsten Ordnung darbietet.

101. Wenn die ungleichförmig erhitzte Platte dem polarisirten Strahle ausgesetzt wurde und man brachte mit ihr parallel eine Gypsplatte an, die auch nur eine eben solche in den ersten Farbenringen liegende Farbe zeigte, wie die Glasplatte, so gingen in den beiden äuſsern Feldern die Farben herunter, oder verhielten sich, wie es dünnern Blättchen angemessen ist, wenn der Hauptschnitt des Gypsblättchens parallel der erhitzten Seite war; dagegen ging die Farbe den höhern Ordnungen zu, wenn der Hauptschnitt des Blättchens senkrecht auf die erhitzte Seite war. In dem mittleren Felde fand das Entgegengesetzte statt. Brewster nimmt daher an,

dafs die äufseren Felder ebenso, wie die positiven Krystalle (Zircon, Quarz) wirken, das mittlere Feld dagegen wie die negativen Krystalle (Doppelspath, Beryll). Die zunächst an den schwarzen Streifen liegenden Theile des Glases wirken am schwächsten auf die Polarisation, und in den schwarzen Streifen selbst ist gar keine Einwirkung, welche an den entgegengesetzten Seiten auf entgegengesetzte Weise hervortritt. Die äufseren Felder geben also dem einen bei der doppelten Brechung entstehenden Strahle eine Voreilung, statt dafs das mittlere Feld dem andern eine Voreilung giebt.

Hieraus läfst sich leicht erklären, ja voraussehn, was geschehn mufs, wenn mehrere solche erhitzte Platten auf einander gelegt werden. Werden Platten von gleicher Gestalt und Gröfse so vereinigt, dafs sie in gleicher Lage, die erhitzten Seiten zusammenfallend, auf einander liegen, so gehn die Farben zu höhern Ordnungen über und eben dieses ist auch der Fall, wenn man statt einer dünnern Platte eine dickere anwendet; legt man aber die Platten gekreuzt auf einander, so gehn an den gleichartigen Stellen, die auf einander fallen, Farben, die dem Unterschiede der Dicke angemessen sind, oder Farben niedrigerer Ordnung, ja selbst das vollkommene Schwarz hervor, da hingegen, wo ungleichartige Theile des Glases sich durchkreuzen, gehn Farben höherer Ordnungen hervor. Die 111te Figur zeigt ein Beispiel dieser Wirkung. Die beiden Platten waren durch Erhitzung an der einen Seite in einen übereinstimmenden Zustand ungleichförmiger Erhizzung versetzt, so dafs sie, wie man an den Theilen, wo sie sich nicht einander bedecken, in der Figur sieht, die Theilung in drei Felder zeigten, in welchen von den schwarzen Linien an die Farben in der bekannten Ordnung folgten. In der Mitte, wo sie sich kreuzend einander bedecken, ging ein schwarzes Kreuz hervor, weil die gleichartigen Mittelfelder als vollkommen gleich dicke Platten mit sich kreuzenden Axen wirkend, das Schwarz, den Mittelfleck der Newton'schen Ringe gaben, und eben dieses da statt fand, wo sich die äufsern Felder durchkreuzten; dahingegen, wo die äufsern Felder einen Theil des mittlern Feldes deckten, ging aus dem Weifs dieser Felder ein reineres Weifs oder selbst eine Farbe höherer Ordnung hervor.

Fig. 111.

Je gröfser die Hitze ist, desto mehr hat sowohl die erhitzte

Seite selbst, als auch die gegenüberliegende Seite und die Mittellinie des mittlern Feldes eine den entfernteren Farbenringen, den höheren Ordnungen angehörende Farbe. Diese Ungleichheiten hängen hauptsächlich von dem Gesetze der Temperaturverschiedenheit in den einzelnen Theilen des Feldes ab, welches zwischen der erhitzten Seitenlinie und der ersten schwarzen Linie liegt, indem die entfernteren Theile ihre Temperatur nicht so sehr ändern. Selbst die Theile des Glases also, an denen kaum eine Aenderung der Wärme bemerkt wird, müssen entweder eine krystallinische Structur annehmen, oder zeigen doch Wirkungen, denen der Krystalle ähnlich.

102. Wenn die Einwirkung des Glases auf den polarisirten Strahl dadurch hervorgebracht wird, dafs ein gleichförmig erhitztes Glas sich ungleichförmig abkühlt, indem man die eine Seite auf ein kaltes Eisen legt, so üben die beiden äufseren Felder die Wirkung negativer Krystalle aus, das mittlere dagegen wirkt den positiven gleich. Die ganze Wirkung ist also der von der einen Seite ausgehenden Erhitzung entgegengesetzt. Dieses zeigte sich durch mehrere Versuche, unter andern wenn man Gläser, die von der einen Seite her erhitzt, und Gläser, die von der einen Seite her gekältet waren, in übereinstimmender oder in gekreuzter Lage combinirte. Wurden sie nämlich gekreuzt auf einander gelegt, so gingen in d, d, d, d, wo die äufsern Streifen der einen Platte mit den mittlern Streifen der andern gekreuzt waren, die Farben zu niedrigern Ordnungen über und stellten wohl gar das Schwarz dar, wie es bei gleichartigen und gleichdicken Krystallen, wenn die Axen gekreuzt sind, statt findet; in c, c, c, c hingegen, wo sich die äufseren Streifen mit den äufsern kreuzten, gingen Farben höherer Ordnungen hervor. Waren die Farben, die man bei gleichen Gläsern durch die Erhitzung der einen Seite bei dem einen, und durch die Abkühlung der einen Seite bei dem andern hervorgebracht hatte, genau gleich, so zeigten sie bei der durchkreuzenden Lage eine schöne Veränderung. Brewster verband zwei solche Gläser, die in der Mitte des mittlern Feldes Gelb zeigten; in diesen ging in der Mitte ein tief blauer kreisförmiger Fleck hervor, weil die sich durchkreuzenden ungleichartigen Mittelfelder eine Farbe höherer Ordnung erhalten. Von diesem mittlern Flecke gingen die Farben herab, weil die hier entstehende Farbe anzusehn ist als einer

Fig. 112.

Fig. 113.

Zahl entsprechend, die als Summe der dem Gelb der einen Mittellinie zugehörigen, addirt zu einer geringern (der mehr seitwärts liegenden Farbe entsprechenden) Zahl nicht so hoch in der Newton'schen Scale steigt. So gingen die Farben bis zum Schwarz herab, das man als ein wenig außerhalb der schwarzen Grenzlinien der Felder liegend ansehn muſs. Da, wo die Seitenfelder sich mit dem Mittelfelde kreuzten, ging eine beinahe schwarze Färbung bis an die Ränder, an den Ecken aber, wo die Seitenfelder sich kreuzten, traten Theile farbiger Ringe hervor, die mit ihren Farben steigend von der Mitte ab fortschritten, indem die äuſsersten Ränder ja am höchsten in der Farben-Ordnung standen.

103. Wenn die Erhitzung der Glasplatte von einem Mittelpuncte ausgeht, so sind die Farbenstreifen kreisförmig, aber vier auf einander senkrechte dunkle Radialstreifen durchschneiden die Farbenringe, und diese Radialstreifen liegen in der Ebene der ursprünglichen Polarisation und senkrecht auf dieselbe. Die Uebereinstimmung dieser Erfahrung mit allem vorigen erhellet leicht. In den vorigen Experimenten nämlich war immer die Seite der erhitzten Glasplatte 45° gegen die Ebene der primitiven Polarisation geneigt, und dann erschienen die Streifen der erhitzten Seite parallel, dagegen trat die Depolarisirung nicht ein, wenn die erhitzte Seite mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene zusammen fiel oder darauf senkrecht war.

104. Diese Versuche und mehrere andere betrafen die Erscheinungen in Gläsern, die noch in dem Zustande ungleicher Erwärmung sind. Aber wenn man glühende Gläser schnell abkühlt, so dauern die Farben nicht bloſs während der Abkühlung, sondern bleiben auch nachher permanent. Die Farbe, welche diese Gläser an der Seite, an welcher ein kaltes Eisen die Abkühlung am schnellsten beförderte, zeigten, gehörte, je dicker die Gläser waren, desto höhern Zahlen in der Newton'schen Tafel an, und zwar so, daſs die Dicke in eben dem Maſse zunahm, wie die den Farben zugehörenden Zahlen in Newton's Scale.

Diese schnell gekühlten Gläser zeigen beim Zerschneiden die schon zum Theil von Seebeck bemerkten Eigenschaften. Hatte die Platte beim Abkühlen die Veränderung erlangt, daſs sich die dunklen Streifen und die Farbenstreifen so, wie in

Fig. 114. der 114ten Figur zeigten, so reichte ein Zerschneiden nach der Fig. 115. Linie AB hin, um die in der 115ten Figur dargestellten Streifen in den so entstandenen zwei Gläsern hervorzubringen; jede Hälfte war nun das geworden, was sie einzeln abgekühlt geworden wäre. Dieses ist um so merkwürdiger, da einige Theile der Platte, die vorhin den positiven doppelt brechenden Krystallen gleich waren, nun den negativen gleich wirken und umgekehrt. Nach andern Versuchen von Brewster gehen solche Aenderungen schon bei unbedeutend scheinenden Aenderungen der Gestalt hervor [1]. Ein genau kreisförmiges Glas zeigte bloſs Kreisringe mit dem der ursprünglichen Polarisations-Ebene entsprechenden schwarzen Kreuze; sobald aber nur die kleinste Quantität an zwei gegen einander über stehenden Seiten abgefeilt und dadurch die Platte etwas elliptisch gemacht wurde, so änderten die Farbenstreifen sich so, daſs man in der Mitte eine den negativen Krystallen entsprechende, an den ein wenig abgefeilten Seiten eine den positiven Krystallen entsprechende Structur wahrnahm. Sobald man durch Abfeilung an den beiden zwischenliegenden Quadranten die Kreisform herstellte, so stellte sich auch die erste gleichmäſsige Gestalt der Ringe wieder her.

105. Wenn die glühenden Platten in der Luft schnell gekühlt sind, so zeigen sie, wenn sie erheblich dick sind, nach jeder Richtung, wenn man durch sie sehend den polarisirten Strahl empfängt, Farbenlinien, die mannigfaltig verschieden sind. Ueber diese Figuren geben die Versuche mit einem längern Glasparallelopipedon noch einige Auskunft. Wenn dieses mit seinen Seiten 45° gegen die Polarisations-Ebene geneigt war, so zeigte es die Längenstreifen und Endstreifen; stellte man aber eines oder das andere Paar der Seiten mit der Polarisations-Ebene parallel, so verschwanden alle Farben und die ganze dicke Platte zeigte sich, wie gewöhnliches Glas, dunkel, nur an den Ecken waren vier helle oder farbige Felder, die also nun das polarisirte Licht immer noch depolarisirten. Zwei dieser Ecken, die diagonal einander gegenüber standen, wirkten so, wie es bei gleich liegenden Axen der Fall ist, die andern zwei so, als ob ihre Axen senkrecht gegen jene lägen. Wählte man ein Gypsblättchen, das gleiche

---

1 Edinb. Ph. Tr. Vol. VIII. 365.

Farben mit jenen Eckfeldern zeigte, und legte es, mit 45° gegen die Polarisations-Ebene geneigtem Hauptschnitte, auf die Platte, so gingen zwei Eckfelder in Schwarz über, wie es bei gekreuzten Axen gleich wirkender Blättchen der Fall ist, die beiden andern Eckfelder aber gingen zu Farben entfernterer Ringe (zu höhern Ordnungen) über, wie es bei parallelen Axen des Gypsblättchens und der Glasplatte seyn mußte. Eben darum steigen in den quadratischen Platten, wenn sie einander deckend auf einander liegen, die Farben zu höhern Ordnungen, je mehr ihrer sind, dagegen steigen sie herab, wenn sie wie AB, CD Fig. 116. auf einander liegen. Da dieses die gewöhnlichste Art ist, die Seebeck'schen Figuren zu zeigen, so will ich zu dem, was ich in nr. 98. erwähnt habe, noch hinzusetzen, daß zwar, wenn gleiche quadratische Gläser sich deckend auf einander liegen, desto mehrere Farbenringe die gegen die Ecken hin liegenden Mittelpuncte umgeben und desto mehr die Farben höherer Ordnung diese Mittelpuncte einnehmen, daß dagegen, wenn die Gläser sich so, wie in der Zeichnung dargestellt ist, bedecken, die Farben in den Ecken G, H herabgehn oder auch wohl ganz in Weiß übergehn.

106. Brewster schloß anfangs aus diesen Versuchen, daß das Glas eine Krystallisation annehme, wo die Krystalle eine ihrer Axen in die Richtung des Wärmestroms, durch den diese Structur hervorgebracht wurde, wenden. Bei schnell nach allen Richtungen gekühlten Gläsern müßten daher, schloß er, die Axen der Krystalle in E senkrecht auf AD, in J dagegen mit AJ zusammenstimmend liegen. Hierdurch wird das schwarze Kreuz in den quadratischen Platten, wenn AD parallel oder senkrecht auf die Ebene der primitiven Polarisation ist, erklärt, indem für EF, LK keine Depolarisirung statt findet, da in diesen Linien die Axen mit der Polarisations-Ebene zusammenfallen oder darauf senkrecht sind. Aber in einer spätern Abhandlung bemerkt Brewster selbst[1], daß diese Erklärung nicht ausreiche. Er sucht diese Veränderungen nun mit der Voraussetzung, daß unter gewissen Umständen nur eine Axe, welche auf die doppelte Brechung wirkt, vorhanden sey, in andern Fällen zwei Axen, in Verbindung zu bringen; aber diese Untersuchungen hier mitzutheilen würde zu weit führen, und

1 Edinb. Ph. Tr. Vol. VIII. 367.

so scharfsinnig sie entwickelt sind, so möchten sie doch wohl noch einer neuen Prüfung sehr bedürfen.

Andere Versuche, die Brewster über Gläser mit einem feinen Risse (wo der getrennte Theil seine eigenen Farbenlinien annahm, so lange der Rifs kenntlich blieb, aber sich, als ob es nur *ein* ungetheiltes Glas wäre, an den übrigen Theil anschlofs, wenn der Rifs sich durch die Wärme schlofs), über erhitzten Flufsspath und andere nur bei Erhitzung Farben zeigende Krystalle anstellte, mufs ich übergehn.

107. Eine zweite Reihe von Versuchen hat Brewster über die Ertheilung dieser Eigenschaften durch blofs mechanische Verdichtung und Ausdehnung angestellt[1].

Wenn man ein Glas zwischen Schrauben prefst, so zeigt es ähnliche Veränderungen. Ist nämlich die Richtung des Drucks 45° geneigt gegen die erste Polarisations-Ebene, so zeigt sich eine Depolarisirung des Lichts, indem ein Weifs oder selbst ein Orange der ersten Ordnung hervorgeht. Nimmt man einen langen Glasstreifen und beugt ihn mit der Hand, so zeigen sich an der convexen, also durch Ausdehnung veränderten Seite und ebenso an der concaven, durch Zusammenpressung veränderten Seite Farbenstreifen, die durch eine schwarze Mittellinie geschieden sind. Bei Anwendung einer etwas stärkern Kraft können sich drei bis vier Farben-Ordnungen entwickeln, ja selbst noch mehrere, und diese gehn an beiden Seiten auf die bekannte Weise vom Schwarz aus. Die schwarze Linie zeigt die Gegend, wo keine Aenderung des Glases statt findet, und die Farben, welche in den übrigen Theilen des Glases hervorgehn, entsprechen dem Grade der Verdichtung oder Ausdehnung der Glastheile; die den Farben entsprechenden Zahlen sind dem Abstande von der schwarzen Linie proportional. Die Lage der Farbenstreifen in einem 6 Zoll langen, 1½ Zoll breiten und ¼ Zoll dicken Glase stellt die Zeichnung dar. (Fig. 117.) Hier sieht man also, in welcher Anordnung die gleicher Spannung ausgesetzten Theile liegen oder wenigstens in welcher Anordnung die eine gleiche Wirkung auf das Licht ausübenden Theilchen sich befinden. Die Wirkung der ausgedehnten Theile des Glases ist den positiven Krystallen, die der zusammengeprefsten Theile ist den negativen Krystallen

1 Phil. Tr. 1816. 156.

entsprechend. Wenn man daher ein durch äufsere Gewalt gekrümmt erhaltenes Glas, das in der Mitte den schwarzen Streifen zeigt, mit einem eben so gekrümmten Glase gekreuzt auf einander legt, so sind die Erscheinungen wie in der 118ten Figur. Die Depolarisirung in beiden concaven Seiten und ebenso die in beiden convexen Seiten wird bei der Kreuzung aufgehoben, daher zeigt sich zwischen den Ecken, wo gleichnamige Theile sich kreuzen, die schwarze Diagonale mn. Die der Länge nach durch die Gläser gehenden schwarzen Linien zeigen sich unterbrochen, weil das in der einen Platte depolarisirte Licht durch das in dieser Gegend unveränderte zweite Glas durchgelassen wird; in den Ecken o, p aber zeigen sich die Farben entfernterer Farbenringe, oder die Farben steigen in der Scale, so wie es beim Kreuzen der Axen positiver und negativer Krystallplatten geschieht.

Fig. 118.

108. Dafs diese Farben-Erscheinungen in Glase nothwendig an eine durch die Ungleichheit der Ausdehnung hervorgebrachte doppelte Brechung geknüpft seyn müssen, läfst sich nach allen bisher erklärten Farben-Erscheinungen wohl mit Grunde schliefsen. Fresnel hat durch Zusammenpressung von Prismen auch wirklich gezeigt, dafs ein doppelter Strahl hervorgeht, oder das Glas wirklich unter dem ungleichen Drucke eine eben solche Spaltung des Strahls bewirkt, wie die doppelt brechenden Krystalle[1].

Ob man nun hieraus auf eine in der innern Structur der Körpertheile vorgegangene Veränderung schliefsen darf, ob man nämlich, wie Brewster, eine krystallische Structur, die so entstanden sey, annehmen solle, das bleibt immer noch zweifelhaft, indem die blofse Aenderung der Lage, die daraus entstehende ungleiche Einwirkung auf den Aether, in welchem nach der Undulationstheorie sich auch im Innern des festen Körpers das Licht fortpflanzt, zur Hervorbringung dieser Wirkungen auf das Licht wohl zureichen dürfte. Nach Fresnel's Ansicht mufs man alle Wirkungen einaxiger Krystalle hervorbringen können, wenn man das Glas nach *einer* Richtung prefst, und die Wirkungen zweiaxiger Krystalle, wenn man es nach zwei auf einander senkrechten Richtungen prefst. Es ist nämlich einleuchtend, dafs unter diesen Umständen die Ein-

1 S. Art. *Brechung*. S. 1195. und Poggend. XIX. 539.

wirkung der nach *einer* oder nach *zwei* Richtungen einander genäherten Theilchen auf den Aether nicht mehr nach allen drei Dimensionen des Raums gleich seyn wird, dafs deshalb die Elasticität des Aethers nach den verschiedenen Richtungen ungleich seyn und so eine Spaltung des Lichtstrahls hervorgebracht werden wird, wie die Undulationstheorie es angiebt.

Diese durch die Einwirkung auf das Licht uns kenntlich werdenden Aenderungen stehn mit den Elasticitäten der Körpertheile selbst, die ebenfalls in verschiedenen Richtungen ungleich sind, nicht in einer streng nachzuweisenden Verbindung; denn Savart konnte bei seinen Versuchen über Klangfiguren keine Uebereinstimmung zwischen den Axen der Elasticität, die aus den Klangversuchen sich ergeben, mit den optischen Axen finden [1].

109. Jene Veränderungen durch Druck glaubte Brewster anfangs nur in Glas und in solchen Krystallen hervorbringen zu können, welche im natürlichen Zustande keine doppelte Brechung zeigen; aber spätere Versuche zeigten ihm, dafs im Doppelspath und andern doppelt brechenden Krystallen die Wirkung des Drucks nur darum unmerklich geblieben war, weil in den meisten Fällen die Kräfte, welche die natürliche doppelte Brechung bewirken, weit mächtiger sind, als die durch künstliche Mittel hervorgebrachten. Es ist bekannt, dafs jene in der Natur der Krystalle liegenden Kräfte die doppelte Brechung nur sehr schwach hervorbringen, wenn der Lichtstrahl einen geringen Winkel mit der Axe macht, und es liefs sich daher erwarten, dafs eine senkrecht gegen die Axe wirkende Pressung am leichtesten kenntlich wirken müsse, wenn man die Farbenringe beobachtete, die sich bei Strahlen, die beinahe der Axe parallel sind, zeigen. Wirklich veränderten nun jene kreisförmigen Farbenringe ihre Gestalt, sie wurden an den Seiten, von welchen der Druck ausging, abgeplattet und endlich sogar durch entgegengesetzte Krümmung einwärts gebogen. Bei dieser Beobachtung war es vortheilhaft, den unzerschnittenen Krystall mit Hülfe der Prismen (wie nr. 73.) anzuwenden, doch wurden, um die verschiedenen Wirkungen genau kennen zu lernen, auch zerschnittene Krystalle gebraucht, und es zeigte sich auch hier, dafs die durch Druck

---

1 Poggend. XVI. 231.

hervorgebrachte Wirkung sich mit der Gestalt des angewandten Stücks auf ähnliche Art änderte, wie es vom Glase bekannt war. Die Wirkung einer Krystallplatte, die einem Drucke unterworfen ist, ist dieselbe, wie sie hervorgehn würde, wenn eine nicht durch Druck veränderte Krystallplatte combinirt würde mit einer Platte, in der einzig durch Druck erst die Einwirkungen auf die Polarisation hervorgerufen werden. Daher müssen, weil die Compression der Wirkung negativer Krystalle entspricht, die Farben in den Farben-Ordnungen aufsteigen, wenn ein Doppelspath, überhaupt ein zu der negativen Classe gehöriger Krystall, senkrecht auf die Axe comprimirt wird, und dieses zeigte sich in dem erwähnten Versuche an der Ellipticität der Ringe, die ihre kurze Axe in der Richtung der Zusammendrückung hatten; in gleichem Abstande von der Mitte zeigten sich Farben höherer Ordnungen in der Richtung der drückenden Kräfte[1].

Biot giebt ein Mittel an, auch bei Krystallplatten, die mit der Axe doppelter Brechung parallel geschnitten sind, die Wirkungen des Druckes wahrzunehmen[2]. Man mufs den polarisirten Strahl, ehe er die durch fortwährenden Druck veränderte Krystallplatte erreicht, durch eine andere Krystallplatte gehn lassen, deren Wirkung von eben der Natur und deren Axe senkrecht gegen die Axe jener ist. Da diese beiden mit der Axe parallel geschnittenen Platten dann so wirken, wie eine Platte, deren Dicke nur der Differenz jener gleich ist, so zeigen sich leicht die Farben, und es läfst sich dann auch die Wirkung des zu- oder abnehmenden Drucks, sobald diese Wirkung von gleicher Ordnung ist mit derjenigen polarisirenden Wirkung, die der Differenz der Dicken angemessen ist, wahrnehmen.

110. Zu diesen Veränderungen fester Körper, welche eine Wirkung auf den polarisirten Lichtstrahl bewirken, gehört auch noch die Vibration, in welche ein Glasstreifen bei der Erregung von Längentönen versetzt wird. Biot und Savart haben hierüber einen Versuch angestellt, indem sie den polarisirten Strahl durch ein keine Depolarisirung bewirkendes Glas gehn liefsen und nun die Erscheinungen im zweiten Spiegel

---

1 Edinb. Ph. Tr. Vol. VIII. 282.
2. Ann. de Ch. et Ph. III. 386.

beobachteten. Da dieser sich in der Querstellung befand, so warf er kein Licht zurück, aber wenn das Glas in Längenschwingungen gesetzt wurde, so gab der Spiegel, wie einen Lichtblitz, das einfallende Licht zurück. Um dieses deutlicher zu sehn, mufste der Lichtstrahl den Glasstreifen nicht nach der Dicke, sondern nach der Breite durchlaufen [1].

111. Aber nicht blofs feste Körper, sondern selbst weiche werden durch Druck fähig, das Licht zu depolarisiren. Auch hierüber hat Brewster Versuche und, so viel mir bekannt, die frühesten Versuche angestellt [2]. Gallerte aus Kalbsfüfsen oder auch Hausenblase zwischen Glasplatten zusammengedrückt zeigt eben solche Farben, wie die äufsern Farbenstreifen des die Depolarisirung bewirkenden Glases. Läfst man den Druck aufhören, so begegnen sich zwei schwarze Streifen in der Mitte, und wenn man dann die Gläser zu trennen sucht und dadurch die daran haftende Masse ausdehnt, so gehn neue Farben hervor. Läfst man Gallerte an der Luft erhärten, so erlangt sie von selbst ungleiche Dichtigkeit und wirkt dadurch auf das polarisirte Licht auf ähnliche Art, wie es durch Zusammenpressung geschieht. Läfst man halb erhärtete Gallerte unter fortwährendem Drucke ganz erhärten, so behält sie die durch den Druck erlangten Eigenschaften fortwährend. Dünne Schichten von Leim, die an zwei Gläsern erhärtet waren, während der mittlere Theil noch weich erhalten worden, wurden durch eine die Gläser auseinander ziehende Kraft ausgedehnt, und so zeigte eine Schicht von $\frac{1}{15}$ Zoll Dicke ein Roth der fünften Ordnung.

Marx hat eine Gallerte, die hierzu tauglich ist, aus dem Schenkelknochen eines Ochsen, den er mehrere Monate in verdünnter Salzsäure liegen liefs, bereitet. So entstand eine blätterige Gallerte, deren Lamellen in polarisirtem Lichte die schönsten Farben zeigten. Auch die trocken gewordenen Blättchen zeigten, mit Cassia-Oel getränkt, sehr schöne Farben [3]. Hierher gehören auch Brewster's Untersuchungen über die optischen Eigenschaften, welche eine zwischen zwei Gläsern geprefste Mischung von Wachs und Harz erlangt, woran er

1 G. LXV. 26.
2 Ph. Tr. 1815. 60. 1816. 172.
3 Kastner's Archiv. VIII. 385.

Betrachtungen über den Ursprung des doppelt brechenden Gefüges knüpft[1].

112. Daſs auch manche andere Körper depolarisirend auf das Licht wirken, hat schon MALUS bemerkt[2], aber auch hier sind BREWSTER's Untersuchungen am reichhaltigsten[3]. Er theilt die Körper, die zwar depolarisirende Wirkungen zeigen, aber nicht geeignet sind, doppelte Bilder darzustellen, in folgende Classen.

1. Körper, welche das Licht polarisiren und neutrale Axen haben, nämlich bestimmte Richtungen, die mit der Polarisations-Ebene des einfallenden Strahls zusammenfallend keine Aenderung in der Polarisation bewirken. Dahin gehört das Menschenhaar, dessen neutrale Axen parallel und senkrecht gegen die Axe des Haars sind, Coconseidenfäden, Flachsfäden u. a. Diese Körper sind gewiſs vollkommen doppelt brechend, aber ihrer Dünnheit wegen erkennt man die beiden getrennten Strahlen nicht einzeln.

2. Körper, die das Licht in jeder Richtung depolarisiren, aber keine bestimmten Axen zeigen, als Gummi, Wachs, durchsichtige Seife, durchsichtige Häutchen u. a. Hier besitzt gewiſs jede äuſserst dünne Schicht ihre Axen; aber da kein Grund vorhanden ist, warum die Axen der zweiten Schicht mit denen der ersten zusammen fallen sollten, und eben dieses bei den folgenden statt findet, so depolarisiren diese Körper das Licht in allen Richtungen, gerade so, wie es geschieht, wenn man bei Gypsplatten absichtlich mehrere Platten so auf einander legt, daſs die Axen verschiedene Winkel mit einander machen[4]. Der Bernstein zeigt sehr verschiedene Depolarisations-Erscheinungen, die aber nur von dem Einwirken äuſserer mechanischer Ursachen hervorgebracht zu seyn scheinen[5].

3. Körper, die sich denen mit neutralen Axen nähern. Dieses findet bei Körpern statt, die nur aus einigen dünnen

---

1 Poggend. XIX. 527.

2 G. XL. 140.

3 Phil Transact. 1815. 32.

4 BIOT's Unters. Ann. d. Ch. et Ph. IV. 90.

5 G. LXV. 20. Auch BREWSTER's Unters. über Ambra gehören hieher. Edinb. Phil. Journ. Nr. IV. p. 332.

Schichten bestehn, deren Axen nicht völlig zusammen fallen. Goldschlägerhäutchen gehört dahin.

4. Körper, die nur einen Theil des Lichts depolarisiren, vermuthlich weil sie aus krystallisirten und unkrystallisirten Theilen gemischt bestehn.

5. Als eine eigenthümliche Art der Depolarisation beschreibt Brewster die im Macis-Oele entstehende, wo sich vier neblige Lichtflecke zeigen[1].

113. Die Ueberzeugung, dafs ein Körper von solchen ungleich dichten Schichtungen, wie die Krystalllinse des Auges, gewifs eine Wirkung auf polarisirtes Licht zeigen müsse, veranlafste Brewster, eine sorgfältige Untersuchung hierüber anzustellen. Auf gewöhnliche Weise dem polarisirten Strahle ausgesetzt zeigte sich nichts Deutliches von einer Einwirkung auf das polarisirte Licht, aber als die Krystalllinse eines Kabeljau in ein Glasparallelepipedum mit Canadischem Balsam gelegt wurde, zeigten sich regelmäfsige optische Figuren, die Brewster genau beschreibt und abbildet. Er schliefst aus dieser Untersuchung, dafs der mittlere Kern und die äufsere Haut sich in einem Zustande der Ausdehnung befinden, während der dazwischen liegende Theil in einem Zustande der Verdichtung ist. Bei Fisch-Augen ist die Structur der Krystalllinse nicht symmetrisch in allen Richtungen, sondern sie hat eine bestimmte Beziehung auf den Durchmesser, der mit der Axe des Sehens zusammenfällt. Die Hornhaut zeigt ganz ähnliche optische Eigenschaften. Brewster glaubt, dafs diese eigenthümliche Bildung des Auges bestimmt sey, die Abweichung wegen der Kugelgestalt zu verbessern[2].

IX. Circularpolarisation und elliptische Polarisation.

114. Um zu der Erklärung dessen zu gelangen, was man unter kreisförmiger Polarisation, Circularpolarisation (*polarisation circulaire*) und was man unter elliptischer Polarisation (*polarisation elliptique*) versteht, fange ich mit theoretischen Betrachtungen, wie Fresnel sie aufgestellt hat, an. In der

1 Ph. Tr. 1815. 40. 51.
2 Ebend. 1816. 311.

gewöhnlichen Polarisation sind, wie schon oft erwähnt worden ist, die Vibrationen, nach Fresnel's Ansicht, senkrecht auf die Richtung des Strahls und senkrecht gegen die Polarisations-Ebene; diese Polarisation kann also mit Recht *geradlinige Polarisation* (*polarisation rectiligne*) heifsen. Gehn zwei gleiche polarisirte Lichtstrahlen nach einerlei Richtung fort, so giebt die Theorie, die ich im Art. *Undulation, Undulationstheorie* genauer erläutern werde, an, dafs beim Zusammentreffen zweier gegen einander senkrechter Vibrationen, die um ein Viertel einer Undulationslänge in ihrem Wege verschieden sind, nicht eine geradlinige Vibration, sondern eine mit gleichförmiger Bewegung vollendete Kreisvibration hervorgeht. Die in Bewegung gesetzten Theilchen werden sich von rechts nach links drehn, wenn die Polarisations-Ebene des voreilenden Wellensystems rechts liegt und die Differenz der Wege ein Viertel der Wellenlänge ist; dagegen wird die Bewegung von links nach rechts gehn, wenn zwar die Polarisations-Ebene des voreilenden Strahls rechtsliegend bleibt, aber die Voreilung drei Viertel der Wellenlänge beträgt; dafs es ebenso zwei Fälle entgegengesetzter Art für die entgegengesetzte Lage der Polarisations-Ebene des voreilenden Strahls giebt, ist offenbar. Wegen der vorrückenden Bewegung der Wellen mufs man, um sich die relativen Lagen der Theilchen in jedem Zeitpuncte vorzustellen, sich um die gerade Linie, die wir die Richtung des Strahls nennen, eine sehr enge Schraubenlinie denken, deren Gänge um eine Wellenlänge aus einander liegen; würde diese Schraubenlinie um ihre Axe gleichförmig gedreht, so dafs sie eine Drehung machte während der Zeit einer Undulation, und so, dafs die Theilchen ihre relative Lage behielten, so gäbe dieses ein Bild von der durch jene Zusammensetzung entstandenen Bewegung der Aethertheilchen. Ein Strahl, dessen Theilchen diese Art von Vibrationen vollenden, heifst *kreisförmig polarisirt.*

Wenn die senkrecht auf einander polarisirten und nach gleicher Richtung gehenden Strahlen nicht um volle Viertel einer Undulationslänge einander voreilen, sondern um Theile der Viertel, so entsteht eine elliptische Vibration, die der vorigen im übrigen vergleichbar ist, nur dafs die Schraubenlinie hier als auf der Oberfläche eines elliptischen Cylinders gezeichnet mufs angesehn werden[1]. Eine solche elliptische Polarisation

[1] Ann. de Ch. et Ph. XXVIII. 154.

könnte auch entstehn, wenn die Geschwindigkeit und Gröfse der auf einander senkrechten und einander um ein Viertel einer Undulation voreilenden Vibrationen ungleich wäre.

115. Wir können hieran noch eine zweite Betrachtung knüpfen. Wenn zwei senkrecht auf einander polarisirte gleiche Strahlen so in einer Richtung fortgehn, dafs keiner dem andern voreilt, so mufs ganz nach mechanischen Principien aus ihrer gemeinschaftlichen Wirkung dasselbe hervorgehn, als ob *ein* nach der Mittelrichtung polarisirter Strahl da wäre, und man kann daher jeden gewöhnlich polarisirten Strahl als aus zwei gegen einander senkrecht polarisirten Strahlen zusammengesetzt ansehn. Aber man kann auch einen in bestimmter Richtung polarisirten Strahl durch zwei in derselben Richtung polarisirte Strahlen ersetzen, deren einer um ein Achtel der Undulationslänge vorauseilt und der andere um ein Achtel zurückbleibt; und wenn man diese neue Zerlegung auf jene zwei Strahlen anwendet, so folgt, dafs man den nach einer bestimmten Richtung polarisirten Strahl sich als aus vier Strahlen zusammengesetzt denken kann, deren eines Paar mit auf einander senkrechten Polarisations – Ebenen dem ursprünglichen Strahle um ein Achtel einer Undulationslänge voreilt, während das zweite Paar mit auf einander senkrechten Polarisations-Ebenen um ein Achtel einer Undulationslänge hinter dem ursprünglichen Strahle zurückbleibt oder um ein Viertel einer Undulation hinter dem zuerst erwähnten Paare. Könnten nun Fälle vorkommen, wo aus dem ersten Paare der eine sich mit dem gegen ihn senkrecht polarisirten aus dem andern Paare verbände, so brächten diese zwei Strahlen einen kreisförmig polarisirten hervor, und wenn die aus beiden Paaren übrig gelassenen sich nun auch verbänden, so brächten sie ebenfalls einen kreisförmig polarisirten Strahl hervor, und die Aethertheilchen hätten in dem einen eine Kreisbewegung von rechts nach links, in dem andern eine Kreisbewegung von links nach rechts. Sind beide kreisförmig polarisirte Strahlen zugleich da und ohne Differenz der Wege fortgeschritten, so haben wir noch immer nichts anderes als den ersten polarisirten Strahl und unsere Zerlegung kann als blofs in der Vorstellung statt findend angesehn werden; wäre dagegen durch irgend eine Einwirkung der eine unserer kreisförmig polarisirten Strahlen schneller als der andere fortgepflanzt, so könnten

Interferenz-Erscheinungen entstehn, die vom Unterschiede der vollendeten Undulationslängen abhängen. Daſs diese ganz hypothetische Betrachtung in der Wirklichkeit Anwendung findet, wird sich bei der Erzählung der Erscheinungen zeigen, welche die Quarze, namentlich der Bergkrystall, der Rauchtopas, bei Strahlen, die nach der Richtung ihrer Axe durchgehn, darbieten.

116. Die Farbenringe, welche sich in einaxigen Krystallen darstellen, wenn der polarisirte Lichtstrahl nach der Richtung der Axe durch dieselben geht und dann durch den Turmalin oder einen Doppelspath beobachtet wird, zeigten, so weit die oben mitgetheilte Betrachtung reichte, alle in ihrem Mittelpuncte eine unverändert gebliebene Polarisation des Strahls, und dieselbe unveränderte Richtung der Polarisations-Ebene hatte sich auch in allen den Strahlen erhalten, die in der Ebene der ursprünglichen Polarisation oder in einer gegen diese senkrechten Ebene lagen. Dieses war der Grund, warum sich, wenn die Axe des Turmalins mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene zusammenfällt, das die Ringe durchschneidende schwarze Kreuz zeigt, und warum sich bei Anwendung des Doppelspaths eben dieses in dem ungewöhnlichen Bilde zeigt. Von dieser Regel machen der Bergkrystall und andre Quarzkrystalle eine auffallende Ausnahme, indem Platten auf die Axe des Bergkrystalls senkrecht geschnitten zwar unter den angegebnen Umständen Farbenringe zeigen, aber diese weder von einem schwarzen Kreuze durchschnitten, noch im Mittelpuncte schwarz sind. Arago hat diese Eigenthümlichkeit des Bergkrystalls zuerst bemerkt[1], aber den Gegenstand noch nicht sehr aufgeklärt. Biot's Untersuchungen führten dagegen zu bestimmten Gesetzen, denen die Erscheinungen der durch Bergkrystallplatten gehenden Strahlen unterworfen sind[2].

117. Die Untersuchungen Biot's gingen vorzüglich auf die Bestimmung der Gesetze, nach welchen die in der Mitte der Farbenringe sich zeigende Farbe von der Dicke der Platten abhängt, und sind, wie alle ähnliche Untersuchungen die-

1 Mém. de l'Inst. de France. XII. 115.

2 Mém. de l'Inst. de Fr. XIII. 218. Traité de Ph. IV. Ann. de Ch. et Ph. IX. 372. X. 63. Mém. de l'acad. roy. II. 41.

ses Gelehrten, mit ausgezeichneter Sorgfalt durchgeführt. Er bediente sich einer ganzen Folge ungleich dicker Bergkrystallplatten, die grofsentheils aus demselben Krystalle geschnitten waren; da bei diesen die Drehung, von der ich sogleich reden werde, von der rechten nach der linken Seite gehn mufste, was Biot so bezeichnet: ↶, so werde ich zuerst von dieser Drehung allein reden, ohne jetzt schon auf den Umstand, dafs bei andern Krystallen die Drehung die entgegengesetzte seyn mufs, Rücksicht zu nehmen. Das polarisirte Licht ging in allen hier zu betrachtenden Fällen in senkrechter Richtung durch die Krystallplatte, so dafs die in der Mitte des Sehefeldes liegenden Strahlen genau mit der Krystall-Axe zusammenfielen; der Doppelspath, durch welchen hierauf der Strahl gehn mufste, um beide Ringsysteme zugleich zu sehn, wurde bei dem Anfange des Experiments immer mit seinem Hauptschnitte der ursprünglichen Polarisations-Ebene parallel gestellt, dann aber nach und nach gedreht, so dafs dieser Hauptschnitt andere Winkel mit der Ebene der ersten Polarisation machte, und diese Winkel werden von jener ersten Stellung auf 0° an gezählt.

Immer, wenn der Doppelspath auf 0° stand, zeigte der mittlere Kreis des ungewöhnlichen Bildes eine Färbung; aber wenn die Krystallplatte nur 0,4 Millimeter dick war, so war diese Färbung eine sehr dunkle, ein tiefes Blau, und eine Drehung von 9°,75 reichte zu, um dieses zu einem höchst dunkeln Purpur zu bringen, so dafs nun das Schwarz des mittlern Kreises beinahe völlig hergestellt war. War die Dicke der Platte $=0,488$ Millimeter, so mufste die Drehung schon 11°,5 betragen, wenn das Blau in der Mitte auf die dunkelste Färbung sollte zurückgeführt werden, und so mufste bei noch gröfsern Dicken der Drehungswinkel, um die dunkelste Färbung hervorzubringen, noch mehr betragen, bei 1,184 Millimeter 28°,5, bei 2,094 Mill. 50° u. s. w. Aber bei gröfsern Dicken ist nun auch bei der anfänglichen Stellung des zerlegenden Doppelspaths auf 0° die Farbe in der Mitte nicht mehr blau, sondern schon bei der Dicke von 1,184 Millim. weifslich blau, bei 3,478 Mill. reines Weifs, bei 5,044 Mill. schönes Orange, bei 5,985 Mill. lebhaftes Roth, bei 7,082 Mill. Purpur, bei 7,935 Mill. Blau. Offenbar gehn hier die Färbungen der Mitte nach der Newton'schen Farbenreihe fort und die beiden zuletzt genannten Farben gehören schon zur zweiten

Ordnung, so dafs man leicht übersieht, welche Farben bei noch gröfserer Dicke in der Mitte sich zeigen würden. Wenn die Färbung in der Mitte bei der Stellung 0° eine den entfernteren Farbenringen Newton's entsprechende, zum Beispiel das Purpur der zweiten Ordnung ist, so geht diese Färbung bei der Drehung des Doppelspaths zu den niedrigern Farben, dem Roth, Orange, Gelb u. s. w. der ersten Ordnung über, aber die ganz dunkle Färbung wird nun bei keiner Drehung mehr erreicht.

Geht man die ganze Drehung des Doppelspaths durch, so zeigen Biot's Versuche, dafs man bei 90° Drehung genau die Farbe im ungewöhnlichen Bilde in der Mitte sieht, die sich bei 0° Drehung im gewöhnlichen Bilde in der Mitte zeigt, dafs bei $90° + a$ die Farbe im einen Bilde erscheint, die bei der Drehung $= a$ im andern Bilde erschien, und dafs daher bei 180° die ganze Farbenfolge durchlaufen ist und die Erscheinungen genau wiederkehren. Nach meiner eignen Ansicht möchte ich die Erscheinung so beschreiben. Wenn man den Kalkspath mit seinem Hauptschnitte auf 0° gestellt hat, so erscheint der mittlere Kreis farbig, und an diese Farbe schliefsen sich die Farbenringe so an, dafs sie den Newton'schen Kreisen gleichen, wenn in ihnen die Farben der niedrigsten Ordnung nicht alle vorkommen. Erscheint zum Beispiel das Violett der zweiten Ordnung in der Mitte, so schliefsen sich hieran die Farben Blau, Grün u. s. w. der zweiten Ordnung an und das gewöhnliche Bild zeigt hierzu die Ergänzungsfarben. Dreht man den Doppelspath auf die Weise, wie es bisher angegeben worden ist, so tritt die nächste niedrigere Farbe, Roth der ersten Ordnung zum Beispiel, in der Mitte hervor und das Violett stellt sich als Ring dar; bei weiterer Drehung tritt das Gelb in der Mitte hervor und das Roth bildet einen Ring, das Grün tritt hervor und drängt das Gelb nach aufsen; dieses Grün erreicht die genaue Ergänzungsfarbe zu dem Violett, womit wir hier anfingen, wenn die Drehung 90° ist. Setzt man die Drehung weiter fort, so wird die Mitte bläulich grün, dann blau, tief blau, und bei 180° hat man dasselbe Violett oder Purpur, womit man angefangen hatte. So scheinen bei fortgesetzter Drehung immer neue Ringe sich aus der Mitte hervorzudrängen, aber man kommt dennoch in dem eben betrachteten Falle nicht ganz zu der dunkeln Schwärze des tiefen

Purpurs der ersten Ordnung, sondern erhält immer das Purpur der zweiten Ordnung wieder. Dieses stimmt ganz mit Biot's Angaben überein, welcher zum Beispiel bei einer 11,971 Millim. dicken Platte das Roth der dritten Ordnung bei 0° Drehung in der Mitte des ungewöhnlichen Bildes sah; dieses wurde bei der Drehung von einem weifslichen Grün, Grün, bläulichen Grün nach und nach verdrängt, bei 90° erschien ein grünliches Blau, das zu Anfange ebenso im gewöhnlichen Bilde gewesen war; dieses ging bei 123° in tiefes Roth (also Roth der zweiten Ordnung) über, das aber bei 180° Drehung wieder zu demselben Roth der dritten Ordnung geworden war, womit wir anfingen [1]. Wenn man die Drehung des Kalkspaths in der entgegengesetzten Richtung statt finden läfst, so verengert sich der innerste Farbenring und verdrängt die Farbe in der Mitte; bei weiterer Drehung verdrängt sein nächster angrenzender Ring ihn wieder u. s. w.

118. Schon aus diesen Versuchen zog Biot den Schlufs, dafs die Drehung des Doppelspaths, deren es bedarf, um die Mitte des ungewöhnlichen Bildes zu der dunkelsten Färbung zu führen, der Dicke der Krystallplatte proportional sey, und dafs bei geringer Dicke nur die brechbareren Strahlen, erst bei gröfserer Dicke auch die übrigen, die Eigenthümlichkeit, sich von der ursprünglichen Polarisations-Ebene entfernt zu haben, zeigen. Um aber das Verhalten der einzelnen Farbenstrahlen genau kennen zu lernen, wiederholte Biot die Versuche in einfarbigem Lichte und fand es hier vollkommen bestätigt, dafs die Drehung, um die Mitte der Kreise zum möglichst vollkommenen Schwarz zurückzuführen, der Dicke der Platten proportional seyn mufs bei Anwendung eines gleichen Farbenstrahls, aber bei gleicher Dicke gröfser ausfällt für die mehr brechbaren Strahlen. Nach der Zusammenstellung der Versuche ergab sich, dafs bei 1 Millimeter Dicke die Drehung für den äufsersten rothen Strahl 17°,49 betragen mufste, für einen Strahl an der Grenze des Gelb und Grün 25°,67, für den äufsersten violetten Strahl 44°,08. Hiermit stimmte die Angabe = 23°,54 für die lichtvollsten Farben in der Mitte des Farbenbildes, wie Biot sie aus seinen Versuchen im

1 Diese vollständigere Beschreibung der Erscheinungen giebt auch Airy. Poggend. XXIII. 213.

weifsen Lichte hergeleitet hatte, ganz wohl überein. Diese für die verschiedenen Farbenstrahlen gefundene Drehung stimmt mit dem Verhältnisse der Quadrate der Anwandelungen so gut überein, dafs man darnach ohne merklichen Fehler eine Drehung aus der andern berechnen konnte.

119. Diese Bestimmungen führen zu einer Uebersicht wenigstens eines Theils der Erscheinungen, indefs bemerkt schon Biot, dafs damit noch bei weitem nicht alles gethan ist, sondern dafs das durch die Axe des Bergkrystalls gegangene Licht sich ganz anders verhält, als wir es sonst bei der Polarisation finden. In Beziehung auf die Farben in der Mitte des ungewöhnlichen Farbenbildes liefs es sich indefs so ansehn, als ob die rothen Strahlen, die in der ursprünglichen Polarisations-Ebene polarisirt die Krystallplatte erreicht hatten, ihre Polarisations-Ebene für jedes Millimeter Dicke um $17\frac{1}{2}°$, die gelbgrünen um $25\frac{2}{3}°$, die äufsersten violetten um 44° geändert hätten. Bei sehr dünnen Platten waren es daher nur die letztern, die sich als merklich abweichend zeigten, bei gröfserer Dicke aber entstand eine Farbenmischung, die sich hiernach würde beurtheilen lassen. Biot hat die Berechnung der Farbe ganz streng angestellt, indem er diese allmälige und für verschiedene Strahlen ungleiche Drehung der Polarisations-Ebene dabei zum Grunde legt [1]. Wenn man nur für die drei oben angeführten Strahlen zu rechnen brauchte, so würde die Rechnung für eine 7 Millimeter dicke Platte so zu führen seyn: die äufsersten rothen Strahlen haben ihre Polarisations-Ebene um 122°,5 geändert, und das ungewöhnliche Bild empfängt also bei der anfänglichen Stellung des zerlegenden Doppelspaths von ihnen eine durch $\text{Sin.}^2\ 122°{,}5 = 0{,}71$ ausgedrückte Menge, die gelbgrünen sind beinahe um 180° abgelenkt und liefern daher bei der Stellung 0° gar keinen Beitrag zu dem ungewöhnlichen Bilde; die violetten sind um 309° abgelenkt und liefern daher im Verhältnisse von $\text{Sin.}^2\ 51° = 0{,}62$ ihren Beitrag zum ungewöhnlichen Bilde. Dieses stimmt mit der Beobachtung, die Purpur gab, gut genug überein, da die gelben und grünen Strahlen hier alle nur wenig einwirken. Biot's Berechnung, die auf *alle* Farbenstrahlen geht, zeigt ganz streng und für alle Beobachtungen, wie Rechnung und Erfahrung zusammenstimmen.

---

1 Mém. de l'Acad. II. 67.

120. Diese Drehung, die wir hier als eine Drehung der Polarisations-Ebene ansehn, welche durch den Bergkrystall hervorgebracht ist, findet sich in verschiedenen Stücken Bergkrystall nach verschiedenen Seiten gehend, so daſs man, ohne daſs die Stücke sonst sich wesentlich verschieden zeigen, Bergkrystalle findet, welche die eine und welche die andre Drehung des Doppelspaths, von rechts nach links oder von links nach rechts, fordern. Biot hat schon diese Verschiedenheit bemerkt, aber auch gefunden, daſs die aus demselben Krystalle geschnittenen Platten in der Drehung übereinstimmten. Herschel hat die Bemerkung bekannt gemacht[1], daſs bei der Varietät des Quarzes, die Haüy Plagieder nennt, Krystalle mit unsymmetrischen Facen vorkommen, und daſs mehrere Krystalle, die jene Drehung links forderten, auch in den pyramidalischen Spitzen der Krystalle ein Linkslehnen der Facen zeigten, so daſs es scheint, als ob doch auch hierbei die Gestalt der Krystalle in Betrachtung komme oder eben die Kräfte, die die optische Wirkung bestimmen, auch bei der Krystallbildung sich schon thätig zeigen. Biot hat gleich dicke, rechts drehende und links drehende Krystallplatten verbunden und dann das hervorgehende polarisirte Licht frei von der Drehung der Polarisations-Ebenen gefunden, so daſs die beiden Einwirkungen einander compensirten und der Strahl sich wie vor dem Durchgange durch den Bergkrystall verhielt[2].

121. Noch weit auffallender, als diese Einwirkung einer Krystallplatte, ist aber Biot's Entdeckung, daſs auch flüssige und selbst dampfförmige Körper ganz ähnliche Aenderungen der Polarisation hervorbringen[3]. Biot hatte, um bei sehr verschiedenen Einfallswinkeln die Farben in den Platten des blätterigen Gypses zu beobachten, diese in eine mit einer oder der andern Flüssigkeit gefüllte Röhre gebracht, und als er hierbei das Terpentinöl anwandte, fand er, daſs dieses für sich allein schon eine schwache Depolarisation hervorbrachte, die der hier betrachteten ganz ähnlich schien. Um diese Erscheinung genauer kennen zu lernen, wandte er eine Röhre von

1 Transact. of the Cambridge Soc. I. 43.

2 Mém. de l'Inst. XIII. 265.

3 Mém. de l'Acad. II. 91. Ann. de Ch. et Ph. X. 63. Traité IV. 539.

16 Centimeter Länge mit Terpentinöl gefüllt an, und der durch diese Masse gehende polarisirte Strahl zeigte schöne Farben. Die Natur der Farben bei den verschiedenen Stellungen des Doppelspaths gegen die ursprüngliche Polarisations-Ebene war völlig so wie bei einer Bergkrystallplatte von 2,094 Millimeter, so dafs sich eine viel schwächere Wirkung, die erst bei dem Durchgange durch 160 Millimeter ebensoviel betrug, zeigte. Aenderung der Temperatur machte hier keinen Unterschied. Das Terpentinöl und ebenso das Lorbeeröl bringen eine Drehung von rechts nach links ↶ hervor, Citronenöl und Campherspiritus von links nach rechts ↷. Der Drehungsbogen ist auch hier dem in der Flüssigkeit durchlaufenen Wege proportional und beträgt im Terpentinöl 2°,706 für jedes Centimeter, wenn man einen rothen Lichtstrahl anwendet. Auch die Ungleichheit der Drehung für verschiedene Farbenstrahlen ist hier der bei Bergkrystall beobachteten so genau gleich, dafs wenigstens die Versuche keinen Unterschied zeigten. Verbindet man einen entgegengesetzt drehenden Bergkrystall mit einer Röhre voll Terpentinöl, so mufs der Weg des Lichts in jenem $\frac{1}{70}$ so grofs als in diesem seyn, um eine Compensation zu bewirken. Verdünnt man Terpentinöl mit Schwefeläther, der für sich keine Wirkung hat, so mufs der Weg des Lichtstrahls in der Mischung, damit die Drehung gleichviel betrage, in dem Verhältnisse länger seyn, wie die verminderte Dichtigkeit der wirksamen Theile des Terpentinöls es fordert. Mischt man Terpentinöl mit einem die entgegengesetzte Wirkung hervorbringenden Körper, z. B. Campherspiritus, so heben die Wirkungen sich auf und compensiren einander, wenn die Quantitäten nach dem umgekehrten Verhältnisse der Wirksamkeit abgemessen sind. Die Wirkung scheint also hier den Körpertheilchen anzuhaften und selbst dampfförmig üben diese Materien noch dieselbe Wirkung aus; indefs darf man daraus, dafs dieses bei den von Biot geprüften flüssigen Materien statt fand, doch nicht allzu allgemeine Schlüsse ziehn, indem, wie Herschel sich überzeugt hat[1], die Quarztheilchen in einer Kalilauge aufgelöst keine solche Wirkung zeigen, wie sie es in ihrer festen Gestalt thaten.

122. Diese sehr schätzenswerthen Untersuchungen Biot's

---

1 Poggend. XXI. 289.

gaben indeſs doch nur über diese wenigen Umstände Aufschluſs, und die physische Aenderung, die der Lichtstrahl hier erleidet, deren Eigenthümlichkeit Biot auch genauer zu erklären versuchte, wurde nicht vollständig aufgeklärt. Hierfür hat Fresnel, der auch auf diese Erscheinungen seinen unerschöpflichen Scharfsinn anwandte, mehr geleistet. Schon ehe er Versuche angestellt hatte, theilte er eine Vermuthung mit über die Beschaffenheit der Strahlen, die eine doppelte Brechung beim Durchgange durch Bergkrystall nach der Richtung seiner Axe erlitten haben[1], und diese Vermuthung hat sich nachher bestätigt gefunden. Er stellte nämlich die Behauptung auf, daſs auch diese Erscheinungen von einer eigenthümlichen doppelten Brechung abhängen müssen, und da man noch keinen Versuch hatte, welcher eine wirkliche Spaltung in zwei Strahlen für den parallel mit der Axe des Bergkrystalls durchgehenden Strahl nachwies, so zeigte Fresnel diese auf folgende Weise[2].

Fig. 119. Es wurde aus einem Bergkrystalle ein Prisma ABC geschnitten, dessen brechender Winkel 152° betrug und in welchem die Axe des Krystalls in der Brechungs-Ebene und gegen beide brechende Flächen gleich geneigt lag. An dieses wurden zwei andere Prismen von Bergkrystall auf den beiden brechenden Flächen befestigt, so daſs ADEC ein rechtwinkliges Parallelepipedum bildete. Die beiden letztern waren aus einem Bergkrystalle genommen, der in Rücksicht auf die Drehungs-Erscheinungen dem andern entgegengesetzt war; auch in ihnen lagen die Krystall-Axen mit DE parallel und wegen ihrer entgegengesetzten Beschaffenheit verstärkten sie die im Mittelprisma hervorgebrachte Spaltung des Strahls. Nach Fresnel's Vorstellung nämlich theilt sich der nach der Richtung der Axe durch den Bergkrystall gehende Strahl in zwei Strahlen, die zwar beide der Axe folgen, aber ungleiche Geschwindigkeiten haben, und der Gegensatz der Drehung rechts und links besteht darin, daſs im einen Krystalle der eine die gröſsere Geschwindigkeit hat, im andern Krystalle der andere. Obgleich nun die vereinigten Prismen ADB, ABC, CBE gar keine Brechung hervorbringen sollten, wenn der Strahl

1 Poggend. XIX. 544.
2 Ann. de Ch. et Ph. XXVIII. 151.

PQ mit AC parallel, senkrecht auf AD, CE einfallend, durchgeht, so muſs dennoch diese dem Bergkrystalle eigenthümliche Brechung kenntlich werden. Da der Lichtstrahl PQ, senkrecht auf AD und auf CE auffallend, durch einen gleichartigen Körper geht, so sollte er nach gewöhnlichen Brechungsgesetzen ganz ungebrochen durchgehn; auch die bei andern Krystallen eintretende Doppelbrechung sollte nicht statt finden, weil der Strahl sowohl im Mittelprisma, als auch in beiden Seitenprismen der Richtung der Axe folgt; aber die dem Bergkrystalle eigenthümliche Einwirkung auf die der Axe folgenden Strahlen findet hier dennoch statt und in Beziehung auf sie sind die beiden Prismen ABD, CBE nicht als mit dem Mittelprisma gleichartig anzusehn, sondern die schief gegen die Trennungsflächen AB, BC einfallenden Strahlen erleiden eine Brechung, weil sie eine veränderte Geschwindigkeit annehmen. Nenne ich den in ADB schneller fortgehenden Strahl R, den langsamern L, so wird, weil die entgegengesetzten Eigenschaften des Mittelprisma's dieses fordern, R an Geschwindigkeit verlieren, indem er durch AB eintritt, L dagegen gewinnen; der erstere wird also (indem wir hier die Geschwindigkeiten nach der Vorschrift der Undulationstheorie beurtheilen) gegen das Perpendikel zu hinaufwärts, der letztere vom Perpendikel abwärts gebrochen, und sie erleiden hier die erste Spaltung in Beziehung auf die Richtung. Bei dem Durchgange durch die zweite Oberfläche BC vergröſsert sich diese Spaltung, indem R nun wieder hinaufwärts, L wieder hinabwärts gebrochen wird, da R jetzt an Geschwindigkeit gewinnt. Daſs diese Brechungen so wenig betragen, daſs daraus keine allzu erhebliche Abweichung von der Richtung der Axe hervorgeht, brauche ich kaum zu erinnern, aber als deutlich getrennt hat dennoch Fresnel diese Strahlen erkannt und ihre Eigenschaften mit den Eigenschaften der Strahlen verglichen, denen durch andere Mittel die Circularpolarisation ertheilt war. Airy hat diesen Versuch wiederholt, bemerkt aber, daſs bei der geringsten unrichtigen Lage der Axen mehr als zwei Bilder hervorgehn, und daſs es ihm nicht gelungen sey, diese ganz wegzuschaffen, sondern nur die übrigen zu schwächen[1].

Diese eigenthümliche Doppelbrechung ist ungleich bei den

---

1 Poggend. XXIII. 206.

verschiedenen Farbenstrahlen und bei den violetten Strahlen am stärksten, und da die Trennung der Farbenstrahlen hier gewiſs durch keine andre Farbenzerstreuung hervorgehn kann, so giebt der Versuch hierüber eine vollkommen unzweideutige Belehrung.

123. Die so getrennten zwei Strahlen sind nun, wie Fresnel beweiset, kreisförmig polarisirte, und es muſs also hier durch eine uns nicht genauer bekannte Kraft die in nr. 115 nur als hypothetisch denkbar nachgewiesene Zerlegung des nach einer bestimmten Ebene polarisirten Strahls in zwei kreisförmig polarisirte statt gefunden haben; der Bergkrystall muſs die Kraft besitzen, dem einen dieser Strahlen eine gröſsere Geschwindigkeit als dem andern zu ertheilen, und diese Einwirkung muſs bei einigen Bergkrystallen dem rechts drehenden, bei andern dem links drehenden polarisirten Strahle die gröſsere Geschwindigkeit ertheilen. Bei dem Durchgange durch die Prismen (nr. 122) erfolgt wegen dieser ungleichen Geschwindigkeit die Spaltung in zwei Strahlen; bei dem Durchgange durch eine Platte, deren Oberflächen beide senkrecht auf die Axe und senkrecht auf die Richtung des Strahls sind, gehn zwar beide Strahlen nach gleicher Richtung, aber mit ungleicher Geschwindigkeit durch, und die Voreilung des einen vor dem andern giebt nun zu den Erscheinungen Anlaſs, die wir eben kennen gelernt haben. Diese beiden kreisförmig polarisirten Strahlen bringen zusammen immer einen geradlinig nach bestimmter Richtung polarisirten Strahl hervor, denn wir haben ja gesehn, daſs sie als aus einem solchen entstanden konnten angesehn werden; der Unterschied der Wege hat hier nur den Einfluſs, daſs die Ebene, nach welcher der so zusammengesetzte Strahl polarisirt erscheint, eine andere Richtung hat, als vorhin, wo, wie man es wohl bildlich nennen könnte, die Schraubengänge an einer andern Seite des Strahls zusammentreffen. Der durch den Bergkrystall gegangene einfache Farbenstrahl zeigt sich daher ganz so, als ob seine Polarisations-Ebene eine der Dicke der Platte proportionale Drehung erlitten hätte, ganz wie Biot angiebt. Diese Ablenkung geht von rechts nach links, wenn der von links nach rechts drehende Strahl der voreilende ist.

Wäre die ungleiche Brechung dieser zwei Strahlen oder die Ungleichheit der erlangten Geschwindigkeiten einerlei bei allen Farbenstrahlen, so würde die Drehung der Polarisations-Ebene

sich bloſs nach der Länge der Wellen der einzelnen Farben richten und der ganze Umkreis bei den kürzern Wellen schon in minder dicken Platten, nach dem Verhältnisse der Undulationslängen, durchlaufen seyn, aber die Refraction selbst ist auch hier stärker bei den violetten, geringer bei den rothen Strahlen, und dieses ungefähr im umgekehrten Verhältnisse der Undulationslängen; deshalb ist das Verhältniſs der Drehungsbogen bei gleichen Dicken der Platten nahe genug dem Quadrate der Undulationslängen umgekehrt proportional, wie Biot gefunden hat. Daſs hieraus die Phänomene der Farben in der Mitte der Ringe so entstehn, wie Biot angegeben hat, läſst sich nun wohl einsehn.

Wie sich die beiden durch jene zusammengesetzten Prismen in der Richtung getrennten Strahlen verhalten, will ich nachher erwähnen. (nr. 125.)

124. Aber Fresnel hat nicht bloſs gezeigt, daſs diese Erscheinungen der Vorstellung von einer Circularpolarisation entsprechen, sondern hat einen Versuch ganz anderer Art angegeben, wodurch man kreisförmig polarisirte Strahlen erhält, die ein völlig den eben erwähnten Strahlen gleiches Verhalten zeigen.

Die gewöhnliche Zurückwerfung des Lichts, sie geschehe nun beim Eindringen aus der Luft in den durchsichtigen Körper, oder sie geschehe an der Rückseite, bringt, wie Fresnel bemerkt, zwar eine Aenderung der Lage der Polarisations-Ebene eines polarisirten Strahls hervor, aber nicht eine wesentlich veränderte Beschaffenheit [1]; dagegen, wenn die Zurückwerfung an der Rückseite in eine Totalreflexion übergeht [2], so daſs gar kein Theil des Strahls in die Luft hervordringt, so zeigt der Strahl sich so verändert, wie es die Circularpolarisation fordert, und unstreitig gehören die von Fresnel hierüber angestellten und nachher völlig bestätigten Versuche, so wie die daran geknüpften theoretischen Betrachtungen zu den glänzendsten Beweisen des Scharfsinns ihres Urhebers. Der Hauptversuch ist folgender [3].

Es sey ABCD ein schiefes Glasparallelepipedum, dessen Fig. 120.

1 Vgl. oben nr. 33.
2 Vgl. Art. *Brechung*. S. 1132. und 1157.
3 Ann. de Ch. et Ph. XXVIII. 148.

Winkel bei A 54°,5 ist[1], so wird für ein Brechungsverhältniſs = 1,51 der senkrecht auf AB einfallende Strahl PQ die vollständige Zurückwerfung bei Q erleiden, und wenn das Glasparallelepipedum lang genug ist, so wird in R eine zweite totale Reflexion statt finden und der Strahl nach RS zu, senkrecht gegen die Oberfläche CD, wieder hervorgehn. War nun der einfallende Strahl PQ ein unter 45° gegen die Reflexions-Ebene polarisirter Strahl, so zeigt sich der bei S hervorgehende Strahl weder polarisirtem Lichte noch gewöhnlichem Lichte gleich; er zeigt die Eigenschaften des gewöhnlichen Lichts, wenn man ihn durch einen Doppelspath gehn läſst, indem bei jeder Stellung des Doppelspaths zwei gleiche Bilder erscheinen; er zeigt sich vom gewöhnlichen Lichte verschieden, wenn man ihn, ehe er den Doppelspath erreicht, durch ein Krystallblättchen gehn läſst, indem er dann zwei farbige Bilder giebt; er zeigt sich ferner vom gewöhnlichen Lichte verschieden, indem er durch zwei neue ganz den vorigen gleiche Totalreflexionen wieder zu einem gewöhnlich polarisirten Strahle wird, was bei den unpolarisirten Lichtstrahlen nicht statt findet. Die Farben, welche der so veränderte Strahl zeigt, wenn man ihn, nachdem er die zwei Totalreflexionen erlitten hat und bei S hervorgeht, durch ein Gypsblättchen und dann durch den Doppelspath zum Auge gelangen läſst, sind nicht dieselben, wie ein gewöhnlich polarisirter durch dasselbe Gypsblättchen gehender Strahl sie zeigen würde, sondern die Complementairfarben, welche die beiden im Doppelspath sich darstellenden Bilder hier zeigen, liegen gleich entfernt von den beiden Farben, welche der gewöhnlich polarisirte Strahl zeigen würde, oder um einen Quadranten entfernt von diesen, wenn man die Farben nach Newton's Anleitung so auf den Kreis aufträgt, daſs immer die Ergänzungsfarben einander gegenüberstehn. Schon dieser Umstand, noch mehr aber der, daſs zwei neue, den vorigen gleiche, Totalreflexionen den Strahl wieder zum gewöhnlichen polarisirten Strahle machen, bewogen Fresnel zu dem Schlusse, daſs jener Strahl anzusehn sey als aus zwei senkrecht gegen einander polarisirten und um ein Viertel Wellenlänge verschiedenen Strahlen zusammengesetzt, daſs er also (nach nr. 114.) ein kreisförmig polarisirter sey.

1 Den Grund, warum gerade dieser Winkel gewählt ist, s. nr. 128.

125. Die Uebereinstimmung dieses Strahls mit dem durch den Bergkrystall gegangenen Strahle zeigt sich durch mehrere Erscheinungen. Wenn man die durch die eigenthümliche Doppelbrechung des Bergkrystalls (nr. 122.) erhaltenen zwei Strahlen durch das Glasparallelepipedum gehn und dort zwei Totalreflexionen erleiden läfst, so haben beide die Natur geradlinig polarisirter Strahlen wieder erlangt und zwar liegen die beiden Polarisations-Ebenen um + 45° und — 45° an beiden Seiten der Reflexions-Ebene gegen diese geneigt [1]. Dasselbe zeigt der durch Totalreflexionen circularpolarisirte Strahl, dessen neue Polarisations-Ebene nach abermaligen zwei Totalreflexionen 45° von der Reflexions-Ebene abweicht, und offenbar ist hier die Herstellung der gewöhnlichen Polarisation genau derselbe Erfolg, den wir in umgekehrter Ordnung hervorbringen, wenn wir den geradlinig polarisirten Strahl in den Zustand der Circularpolarisation durch zwei Totalreflexionen versetzen.

Ferner, wenn man einen durch Totalreflexion kreisförmig polarisirten Strahl durch die Bergkrystallplatte nach der Richtung der Axe gehn läfst, so zeigt er keine Farben, offenbar weil dieser schon im voraus so modificirte Strahl nun ebenso wenig der Zerlegung in zwei Strahlen fähig ist, wie unter den bekannten Umständen der geradlinig polarisirte Strahl beim Durchgange durch den Doppelspath [2]. Dafs der so modificirte Strahl in dem zusammengesetzten Bergkrystallprisma nun auch nicht in zwei der Richtung nach verschiedene Strahlen gespalten wird, erhellet von selbst.

126. Auch folgender Versuch läfst sich nun ohne Schwierigkeit erklären. Wenn man zwei solche Glasparallelepipeda in Richtungen gegen einander senkrecht aufstellt und den vorher gewöhnlich polarisirten Strahl im ersten zwei Totalreflexionen unter 54°,5 erleiden läfst, wenn man ihn dann durch ein Gypsblättchen gehn läfst, dessen Hauptschnitt 45° gegen *beide Ebenen* zweimaliger Reflexion geneigt ist, und er hierauf auch in dem zweiten Parallelepipedum die gleichen zwei Totalreflexionen erleidet, so zeigt dieser hervorgehende Strahl sich ganz so, wie der durch den Bergkrystall gegangene vorher

Fig. 120.

1 Baumgartner's Zeitschrift. II. 10.
2 Ann. de Ch. et Ph. XXVIII. 160.

polarisirte Strahl. Läſst man ihn nämlich durch einen Doppelspath zum Auge gelangen, so erscheint er farbig, und die Farben ändern sich, wenn man den Doppelspath dreht, so daſs sie von der Neigung des Hauptschnitts gegen die ursprüngliche Polarisations-Ebene abhängen [1]. Diese Uebereinstimmung hat offenbar in der Zerlegung in zwei Strahlen, die im Gypsblättchen statt findet, ihren Grund, und die Uebereinstimmung mit dem Bergkrystalle würde noch vollkommner seyn, wenn das Gypsblättchen dieselbe ungleiche Brechung auf die verschiedenfarbigen Strahlen ausübte, wie es der Bergkrystall thut.

127. Ueber die Art der Einwirkung, die der Bergkrystall auf die nach der Richtung seiner Axe durchgehenden Strahlen ausübt, worin seine Kraft, jene zwei Strahlen zu trennen, besteht, giebt dieses alles freilich wenig Licht, und Fresnel bemerkt auch nur, daſs der Krystall doch in der Richtung von rechts nach links eine etwas andere Beschaffenheit als in der Richtung von links nach rechts haben müsse [2]; für die durch Totalreflexion hervorgebrachte Circularpolarisation dagegen giebt Fresnel eine Ueberlegung an, die auf den Grund ihrer Entstehung hindeutet und die ich hier mitzutheilen nöthig finde.

Die bisher angeführten Erfolge der Totalreflexion finden am besten statt, wenn die Zurückwerfungs-Ebene 45° gegen die ursprüngliche Polarisations-Ebene geneigt und die Totalreflexion nicht einer ihrer beiden Grenzen nahe ist, aber in allen Fällen, wo die gänzliche Zurückwerfung statt findet, verhält der Strahl sich so, als ob er aus zwei gegen einander senkrecht polarisirten und um einen Bruch einer Undulation einer dem andern voreilenden Strahlen bestände. Wenn der Strahl unter demjenigen Einfallswinkel im Innern des dichtern Körpers auf die brechende Ebene auffällt, daſs der berechnete Sinus des Brechungswinkels den Werth = 1 nur unbedeutend übertrifft, oder wenn die Totalreflexion ihrer ersten Grenze noch ganz nahe ist, so bemerkt man noch keine Differenz der Undulationen, aber wenn der Einfallswinkel gröſser wird, so nimmt diese Differenz zu, und erreicht ein Maximum; bei noch gröſsern Einfallswinkeln nimmt sie wieder ab, und an

---

1 Ein zu diesen Versuchen bequemes Instrument beschreibt Baumgartner. Zeitschr. II. 3.

2 Poggend. XXIII. 398.

der zweiten Grenze der Totalreflexion, wo nämlich der Einfallswinkel nahe an 90° ist, verschwindet diese Differenz abermals.

128. Offenbar muſs dieses mit den Gesetzen zusammenhängen, welche die Bestimmung der Veränderung der Polarisations-Ebene bei der gewöhnlichen Zurückwerfung und die Intensität des zurückgeworfenen Strahls angeben (nr. 37.), aber die für die gewöhnliche Zurückwerfung geltenden Formeln werden unmöglich, wenn in den dort gebrauchten Ausdrücken $\text{Sin.}\,i' = \mu.\text{Sin.}\,i$ gröſser als eins wird, das heiſst, wenn die theilweise Reflexion in Totalreflexion übergeht. Es ist bekannt, daſs diese unmögliche Form hier nicht eine solche Bedeutung haben kann, daſs die Zurückwerfung physisch unmöglich sey, wir müssen daher, nach Fresnel's gewiſs richtiger Meinung, annehmen, die unmögliche Form deute nur darauf hin, daſs eine der Rechnung zum Grunde gelegte Voraussetzung nun aufhöre statt zu finden. Mit sehr gutem Grunde vermuthet Fresnel, daſs diese hier nicht passende Voraussetzung die sey, daſs die Coincidenz der Undulationen des reflectirten und einfallenden Strahls genau in der brechenden Oberfläche statt finde, und obgleich Fresnel von physischen Gründen für eine hier eintretende Abweichung von dieser Coincidenz nichts weiter sagt, so lieſsen sich doch gar wohl solche Gründe denken, indem der bei andern Einfallswinkeln vorwärtsgehende, in das neue Medium eindringende Theil der Welle einen Theil einer Undulation verlieren könnte, jetzt da er mit dem reflectirten Strahle sich vereinigt. Die Ueberlegung, daſs nur darin das Unmöglichwerden begründet sey, veranlaſst Fresnel, die Formeln für u in nr. 37, die hier aus einem rationalen und aus einem mit $\sqrt{-1}$ multiplicirten Theile bestehn, so zu verstehn, daſs, wenn ich kurz $u = A + B\sqrt{-1}$ schreibe, A der Werth von u für eine Welle, B der Werth von u für eine um ein Viertel einer Undulationslänge folgende Welle sey. Ein entschiedener Grund für diese Annahme tritt nicht hervor, und Fresnel sagt auch nur, wir können mit der wohlbegründeten Hoffnung, uns nicht zu irren, es so ansehn, als ob das reflectirte Wellensystem in zwei andere, um eine Viertel-Undulation verschiedene, zerlegt sey, deren eins, für welches $u = A$ die Coincidenz seiner Wellen mit denen des einfallenden Strahls be-

sitze, $u = B$ der Werth für das andre sey. Diese Werthe nun, die ich kurz A und B genannt habe, werden verschieden für den ersten in nr. 37. betrachteten Hauptfall, wo der einfallende Strahl in der Reflexions-Ebene polarisirt war, und für den zweiten Hauptfall, wo die Polarisations-Ebene eine senkrechte Lage gegen jene hatte. Für den aus beiden hervorgehenden Strahl leitet nun FRESNEL durch eine leichte Rechnung, deren physisches Princip mir nicht ganz klar ist, die Differenz der Undulationen her, die aus den in jenen beiden Fällen entstehenden reflectirten Strahlen hervorgehn. Darf ich seiner Analyse eine Auslegung geben, wie sie mir am einleuchtendsten scheint, so würde ich seine Formel auf folgende mit FRESNEL's Worten nicht ganz übereinstimmende Art herleiten. In dem für den ersten Fall berechneten Werthe ist das, was ich kurz mit A bezeichnete, $= \frac{1 + \mu^2 - 2\mu^2 . \operatorname{Sin.}^2 i}{\mu^2 - 1}$

und $B = -\sqrt{(1 - A^2)}$; im zweiten Falle ist das rationale Glied $A' = \frac{(\mu^4 + 1) \operatorname{Sin.}^2 i - \mu^2 - 1}{(m^2 - 1)\,[(m^2 + 1) \operatorname{Sin.}^2 i - 1]}$

und wieder $B' = \sqrt{(1 - A'^2)}$[1]. Denkt man sich also, die Ebene, an welcher die Welle A entsteht, liege um etwas weniges von der Ebene entfernt, an welcher A' entsteht, so geht in jedem Augenblicke von jener ersten Ebene eine Undulation zurück, die sich in irgend einer Phase $= \alpha$ befindet und deren absolute Vibrationsgeschwindigkeit $= A$ ist, und eine zweite Welle geht in demselben Augenblicke von derselben Ebene zurück mit der Vibrationsgeschwindigkeit $= A'$, aber in einer Phase, die von der vorigen verschieden $= \alpha + x$ ist, weil diese Undulation von einer andern Ebene zurückkehrt, also einen andern Weg durchlaufen hat. Nach der theoretischen Bestimmung der Vibrationsgeschwindigkeit in jeder Undulation ist nun $\operatorname{Cos.} \alpha = A$ in jener, $\operatorname{Cos.} (\alpha + x) = A'$ in dieser Welle, wenn wir annehmen, daſs diese Werthe nur sofern ungleich sind, als die Undulationsphasen ungleich sind; dann also ist $\operatorname{Cos.} x = A . A' - \sqrt{(1 - A^2)} . \sqrt{(1 - A'^2)}$, und x ist der Unterschied der Wege, um welchen diese Wellen hinter einander folgen. Man findet aber aus den vorigen Werthen von A und A'

1 Diese Formeln folgen leicht aus den in nr. 37. gefundenen, wenn sie auf unsern Fall angewandt werden.

$$\text{Cos. } x = \frac{2\mu^2 \text{ Sin.}^4 i - (\mu^2+1) \text{ Sin.}^2 i + 1}{(\mu^2+1) \text{ Sin.}^2 i - 1},$$

welches die von FRESNEL angegebene Formel ist, und FRESNEL giebt zugleich auch den Grund an, warum man die $\pm$ Zeichen so wählen mufs, wie hier geschehn ist. Um den so bestimmten Undulationsraum, wo x als Theil der ganzen Undulationslänge angegeben wird, folgen die beiden in der Totalreflexion vereinigten Strahlen einander.

129. Obgleich nun allerdings diese Rechnung sich auf sehr hypothetische Sätze gründet und nicht die Klarheit besitzt, die man wohl wünschen möchte, so hat doch FRESNEL's unbegreiflicher Scharfsinn, wie es scheint, auch hier die Wahrheit gleichsam errathen; denn die Erfahrung trifft mit der Formel überein[1]. An der ersten Grenze der Totalreflexion, wo $\mu \text{Sin.} i = 1$ ist, wird $\text{Cos.} x = 1$, und an der zweiten Grenze, wo $i = 90°$ ist, gleichfalls $\text{Cos.} x = 1$; in beiden Fällen findet also keine Differenz der Undulationen statt, und das Licht mufs gewöhnlich polarisirt seyn, wie es die Erfahrung zeigt. In beiden Fällen kommt in den obigen Ausdrücken kein unmögliches Glied vor.

Bei FRESNEL's Versuchen, wo er ein Glas gebrauchte, dessen Brechungsverhältnifs $= 1{,}51$ war, betrug der aus den Versuchen geschlossene Unterschied der Wege ein Achtel Undulation für $i = 50°$, und dieses stimmt nahe mit der Formel überein. Will man für diese Glas-Art genau $x = 45°$ haben, so mufs man $i = 48° 37',5$ oder auch $i = 54° 37',5$ nehmen, und deshalb wurde für die Form des Parallelepipedums der Winkel $= 54°,5$ genommen, damit zwei Totalreflexionen das Voreilen genau einer Viertel-Undulation gleich gäben. Für das Maximum von x oder das Minimum von Cos. x erhält man $\text{Sin.}^2 i = \frac{2}{\mu^2+1}$, womit $\text{Cos.} x = \frac{8\mu^2}{(\mu^2+1)^2} - 1$ zusammengehört. Für $\mu = 1{,}51$ ist dieser Werth von

$$i = 51° \ 21', \ x = 46\tfrac{1}{3}°.$$

Man kann also durch diese Totalreflexionen einen Unterschied der Undulationswege, wie man ihn haben will, hervorbringen, und FRESNEL führt, aufser den oben erwähnten Versuchen, noch mehrere an, wo die gesammte Voreilung des Strahls auf

---

1 Ein Einwurf andrer Art ergiebt sich freilich. S. nr. 141.

ein Viertel einer Undulation gebracht war, und andre, wo sie davon abwich[1] und die Uebereinstimmung mit der Formel sich bestätigte. Die Totalreflexion dient also, um Circularpolarisation oder elliptische Polarisation, wie man will, hervorzubringen.

Es schliefst sich hieran Airy's Vorschlag, neue Arten der Lichtzerlegung anzuwenden[2]. Für die geradlinige Polarisation dient der Turmalin, der Doppelspath, die unter dem richtigen Winkel angewandte Glasplatte, als Zerleger des Lichts, indem sie diejenigen Lichtstrahlen aussondern, die auf bestimmte Weise geradlinig polarisirt sind; aber ebenso ist es möglich einen Lichtzerleger anzugeben, der unter zwei entgegengesetzten kreisförmig polarisirten Strahlen nur den rechts drehenden durchliefse oder der zwei elliptisch polarisirte Strahlen auf ähnliche Weise trennte. Das Glasparallelepiped giebt uns Mittel, solche Zerlegungen zu bewirken. Wenn auf dieses ein kreisförmig polarisirter Strahl auffällt und die zwei oben beschriebenen Totalreflexionen auf die dort angegebne Weise leidet, so geht er geradlinig polarisirt und in einer $= + 45°$ oder $- 45°$ gegen die Reflexions-Ebene geneigten Ebene polarisirt hervor; ein diesen Strahl gehörig auffangender Glasspiegel kann uns offenbar die Frage, ob die Neigung $+ 45°$ oder $- 45°$ war, sogleich beantworten und uns eben dadurch auch die Drehungsrichtung des kreisförmig polarisirten Strahls angeben, oder, wenn beide Arten circularpolarisirter Strahlen vereinigt waren, den einen Strahl unterdrücken, während der andre noch immer mit der ihm eigenthümlichen Intensität hervorginge. Statt des nicht immer bequem anzubringenden Glasparallelepipeds hat Airy Gypsplatten von genau solcher Dicke angewandt, dafs der nach einem der Hauptschnitte des Krystalls polarisirte Strahl entweder um 1 oder 3 oder 5 Viertel einer Undulation gegen den andern, in der darauf senkrechten Ebene polarisirten, verzögert ist. Wenn dann das Glimmerblättchen so mit dem Spiegel verbunden ist, dafs sein Hauptschnitt den Winkel von 45° mit der Reflexions-Ebene des letztern macht, so hat man ziemlich denselben Lichtzerleger, wie vorhin. Fiel nämlich ein geradlinig polarisirter Strahl auf, so geht ein kreisförmig polarisirter

---

1 Poggend. XXII. 121. Ann. de Ch. et Ph. XLVI.
2 Ebend. XXVI. 140.

Strahl (aus der Verbindung zweier, die senkrecht gegen einander polarisirt und um ein Viertel einer Undulation verschieden sind) aus dem Krystalle hervor, und umgekehrt wird ein kreisförmig polarisirt auffallender Strahl in einen geradlinig polarisirten verwandelt. Bei weifsem Lichte tritt dann nur die Verschiedenheit ein, die schon oben in Beziehung auf die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenen Farbenstrahlen erwähnt worden ist.

Es ist zu bedauern, dafs Airy die Versuche, die er mit dieser Lichtzerlegung angestellt hat, nicht vollständig beschreibt. Er sagt blofs, wenn man polarisirtes Licht einfallen läfst, so zeigt der Kalkspath Farbenringe ohne Kreuz, der Salpeter und Arragonit zeigen ihre Farbenlemniscaten ohne irgend eine der hyperbolischen dunkeln Linien, wodurch diese sonst unterbrochen werden. Warum dieses geschieht, erhellt allerdings aus folgender Betrachtung. Wenn die zwei gegen einander senkrecht polarisirten Strahlen, die um ein Viertel Undulation verschieden sind (also einem kreisförmig polarisirten Strahle gleichgelten), auf den Doppelspath fallen, so werden sie hier in zwei, dem Hauptschnitte desselben gemäfs wieder auf einander senkrecht polarisirte, Strahlen getrennt. Ist nun der vorhin um ein Viertel einer Undulation zurückgebliebene Strahl um eine ganze Undulation gegen den andern aufs neue verzögert, so hat der hervorgehende Doppelstrahl genau dieselbe Beschaffenheit, wie vor dem Eintritte, da hingegen, wo der schon um ein Viertel verzögerte Strahl nur um ungerade halbe Undulationen verzögert wird, da ist eine Verzögerung von $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{4}$ u. s. w. eingetreten, oder weil die Anzahl der ganzen Undulationen nicht in Betrachtung kommt, so ist der vorhin um ein Viertel verzögerte Strahl jetzt um ein Viertel voreilend, und die Vereinigung beider hat also die Eigenschaften eines entgegengesetzt drehenden kreisförmig polarisirten Strahls. Denken wir uns nun kreisförmig polarisirtes Licht auf eine gegen die Axe senkrecht geschnittene Doppelspathplatte fallend, so werden aus diesem Grunde in einem gewissen Abstande von der Mitte rechts gewundene, in anderm Abstande von der Mitte links gewundene Strahlen und so abwechselnd nach dem Durchgange durch die Platten hervorgehn; jede Art von Strahlen, die ich hier alle als gleichfarbig annehme, wird völlig gleich in einem um die Mitte, um den mit der Axe genau

übereinstimmenden Strahl, gezogenen Kreise hervorgehn. Und wenn nun diese Strahlen durch einen Lichtzerleger aufgefangen werden, der nur die rechts drehenden Strahlen zum Auge gelangen läfst, die links drehenden aber völlig unterdrückt, so werden sich abwechselnd vollkommen helle farbige Kreise an den Stellen des Krystalls, wo die vollen Undulationen verloren gingen, vollkommen dunkle Kreise an den Stellen, wo genaue halbe Undulationen verloren gingen, zeigen. Ein dunkles Kreuz kann sich hier aber nicht zeigen, weil die kreisförmig polarisirten Strahlen nicht an einer Seite oder in einer Richtung andre Eigenschaften besitzen, sondern diese Kreise sind ohne Unterbrechung, und ebenso die Lemniscaten in andern Fällen.

Airy hat sich, wie man wohl sieht, von der Richtigkeit dieser vorausvermutheten Erfolge überzeugt.

130. Ich kehre nun noch einmal zu den durch den Bergkrystall dargebotenen Erscheinungen zurück, indem auch hier Airy zu den bisher angeführten Untersuchungen noch sehr wichtige Zusätze hinzugefügt hat. Er macht in Beziehung auf Biot die Bemerkung, die zum Theil auch auf Fresnel Anwendung leidet, dafs er die Erscheinungen nicht in ihrem ganzen Umfange aufgefafst habe und, indem er nur einzelne Phänomene zu erklären suchte, nicht auf die Ansicht kommen konnte, welche zugleich alle Erscheinungen umfafst. Wirklich scheint es auch, als ob, selbst bis zu Airy hin, niemand die ganze Erscheinung vollständig beschrieben habe, obgleich manche Umstände keinem der frühern Beobachter unbemerkt bleiben konnten; sie hielten sie vielleicht für minder wichtig. Fresnel hat indefs den wichtigsten Punct, wodurch sich die im Bergkrystalle vorkommenden Erscheinungen von denen in andern einaxigen Krystallen unterscheiden, richtig aufgefafst und erklärt, aber die Verbindung dieses Ungewöhnlichen mit dem Gewöhnlichen nicht weiter untersucht.

Die Beschreibung der Erscheinungen ist nämlich zuerst schon unvollkommen, indem sie für die Stellung des Turmalins oder des Doppelspaths, wo seine Axe mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene zusammenfällt, das schwarze Kreuz als gänzlich fehlend angiebt. Richtig ist es, dafs der mittlere Kreis ganz mit irgend einer Farbe gefüllt ist und dafs auch die nächsten Farbenkreise noch in keiner Gegend dunkler er-

scheinen, aber entfernter von der Mitte zeigt sich ein deutlich dunkleres Kreuz, das zwar die Farbenkreise nicht so wie bei andern Krystallen ganz unterbricht, aber doch die Farben gleichsam beschattet, ihnen einen Theil ihres Glanzes raubt [1]. Die ganze Erscheinung ist also in gröfserer Entfernung vom Mittelpuncte mehr als in der Nähe des Mittelpuncts mit den gewöhnlichen Erscheinungen bei dem Doppelspath und andern Krystallen übereinstimmend. Bei dickern Platten finde ich diese Beschattung minder merklich.

Zweitens: Auch das weifse Kreuz, welches bei der um 90° geänderten Stellung des Turmalins die Farbenringe zu durchschneiden pflegt, fehlt in den entferntern Farbenringen des Bergkrystalls nicht ganz, und wenn die Bergkrystallplatte dünn ist, so zeigen sich auch die in der 95sten Figur nahe am Mittelpuncte gezeichneten vier dunkeln Flecke, die aber hier nicht schwarz, sondern gefärbt sind, so wie auch in der Mitte, wie schon oft erwähnt ist, kein Weifs, sondern die Ergänzungsfarbe zu der bei der ersten Stellung beobachteten Farbe sich zeigt.

Drittens: Wenn die Drehung des Turmalins 45° beträgt, so haben die Farbenringe ihre Kreisform verloren und haben das Ansehn eines Vierecks mit abgerundeten Ecken, und bei dünnen Bergkrystallplatten zeigt sich zugleich ein kurzarmiges blaues Kreuz, so wie Fig. 121 es darstellt [2]. Die Farbenringe sind nicht mehr durchaus gleich lichtvoll, sondern, wenn man etwas mehr gegen die Stellung auf 90° zugeht, so werden die zwischen den Armen des blauen Kreuzes liegenden Theile blasser, wogegen die diesen Armen gegenüber liegenden Theile der Ringe mit desto lebhaftern Farben hervortreten. Diese Er-

Fig. 121.

---

1 Dieses schattige Kreuz ist in Poggend. Annalen Taf. II. Fig. 6 – 9. gut dargestellt, wo übrigens die Färbungen sehr schlecht gerathen sind.

2 Die 121ste Figur ist von meinem Sohne Hermann Brandes nach der Ansicht, wie sie eine dünne Bergkrystallplatte darbietet, gezeichnet. Sie stimmt nicht ganz mit der Figur von Airy in Poggendorf's Annalen überein, aber jede solche Zeichnung kann nur als einen einzigen Fall darstellend angesehn werden; eine geringe Drehung des Krystalls verändert die Gestalt und die Lichtstärke der Ringe, und nicht bei jeder Platte tritt das blaue Kreuz auf gleiche Weise hervor, was auch Airy andeutet.

scheinungen müssen bei jeder verschiedenen Dicke der Platte etwas anders werden, weshalb mir Airy's Beschreibung, die nur auf einen bestimmten Fall Rücksicht nimmt, eine Unvollkommenheit zu haben scheint, die in seinen spätern Betrachtungen durch die Anwendung der Formeln gehoben wird.

131. Nach dem Eindrucke, den die ganze Folge dieser Erscheinungen hervorbringt, glaube ich sie so darstellen zu können. Wenn man sich bei den Farbenringen des Doppelspaths, so wie sie bei einer Drehung des Turmalins auf 45° erscheinen, statt der plötzlich abgebrochenen Ringe der einen und der andern Art einen Uebergang nach dem Gesetze der Stetigkeit dächte, so hätte man das Viereck der von Airy mitgetheilten Figur oder die Form, wie Fig. 121, und da offenbar die den abgerundeten Ecken entsprechenden Farben sich ebenso aus dem dunkeln Kreuze heraus hervorbilden, so möchte ich diese Verbindung der Erscheinungen in den beiden genannten Figuren als die am leichtesten zu übersehende angeben.

Fig. 96.

Und sie stimmt nun auch völlig mit Airy's Theorie überein, welche auf eine sehr angemessene Weise die sämmtlichen Erscheinungen verbindet. Airy nimmt nämlich an, dafs die durch den Bergkrystall gehenden Strahlen in allen Fällen elliptisch polarisirt sind, dafs diese Ellipsen, welche die Aethertheilchen in ihren Vibrationen durchlaufen, in Kreise übergehn, wenn die Strahlen der Axe folgen, und immer länglicher werden, wenn die Strahlen einen gröfsern Winkel mit der Axe machen, daher sie denn, wenn die Neigung der Strahlen gegen die Axe gröfser wird, sich von geradlinigen Vibrationen nicht mehr unterscheiden. Die zwei Strahlen, die der Bergkrystall in allen Richtungen als doppelt brechender Körper darbietet, sind also beide elliptisch polarisirte Strahlen und zwar hat die Ellipse bei dem gewöhnlich gebrochenen Strahle ihre grofse Axe senkrecht gegen die durch den Strahl und die Axe gelegte Ebene, so dafs bei den sehr schmal werdenden Ellipsen die elliptischen Vibrationen in geradlinige Vibrationen senkrecht auf diese Ebene übergehn, wie es den Vorstellungen über den gewöhnlich gebrochenen Strahl gemäfs ist; bei dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle liegt die grofse Axe der Ellipse in der Ebene des Hauptschnitts. Für beide Strahlen ist das Axenverhältnifs der Ellipsen gleich bei gleicher Neigung gegen die Krystall-Axe, und schon bei 10°

Neigung unterscheiden sich die Strahlen von den geradlinig polarisirten. Die beiden elliptisch polarisirten oder auch kreisförmig polarisirten Strahlen haben entgegengesetzte Drehungsvibrationen.

Endlich nimmt Airy noch an, daſs man zwar den Gang des ungewöhnlich gebrochenen Strahls nach der von Huyghens angegebnen Construction[1] bestimmen könne, jedoch mit dem Unterschiede, daſs das abgeplattete Sphäroid nicht als die Kugel berührend, sondern als ganz von ihr umschlossen angenommen werden müsse.

132. Da die eben vorhin angegebene kurze Uebersicht der Erscheinungen und ihrer Uebereinstimmung mit dem, was die übrigen einaxigen Krystalle zeigen, wie ich hoffe, hinreichend andeutet, wie man die Gesammtheit der Erscheinungen erklären muſs, so darf ich wohl die gründlichen, aber ohne eine lange Reihe von Formeln nicht verständlichen Untersuchungen Airy's hier übergehn. Es ist offenbar, daſs die elliptischen Vibrationen ganz geeignet sind, einen solchen stetigen Uebergang von der einen Farbenfolge zur andern und dadurch die vorhin erwähnte viereckige Form hervorzubringen, und Airy zeigt dieses mit vollkommener Strenge. Der Grund, warum er die Hugenische Construction hier abändert, ist, daſs sie in der Mitte keine Färbung angeben würde. Uebrigens sind Airy's Formeln nicht schwer zu übersehn, indem er die Gröſse der Vibrationen ganz nach Fresnel's Regeln zerlegt und daraus die Intensität des Lichts bestimmt. Auf diese Weise ergeben sich in analytischen Ausdrücken die in nr. 75 und 76. gefundenen Bestimmungen, aber für den Bergkrystall wird die Betrachtung schwieriger, weil hier beide Strahlen als elliptisch polarisirt angesehn werden müssen und wir von diesen annehmen, daſs sie aus zwei auf einander senkrechten, um ein Viertel einer Undulation als Voreilung verschiedenen Vibrationen entstehn, die in demselben Maſse ungleich sind, wie die Axen der Ellipse. Auch hier ergeben sich Formeln für die Intensität des Lichts in allen Puncten der Ringe und für alle Stellungen der Turmalinplatte[2]. Sie ergeben, daſs bei der Stellung

---

1 Vergl. Art. *Brechung*. S. 1170.

2 Ich behalte diesen Ausdruck bei, obgleich Airy sich des zweiten Spiegels bediente.

des Turmalins, wo seine Axe mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene zusammenfällt, und so auch für die um 90° davon entfernte Stellung, die Farbenringe Kreise sind; diese Farbenringe sind nirgends unterbrochen, aber die Formeln geben eine schwächere Intensität an den Stellen, wo in andern Fällen das schwarze Kreuz entsteht, und ganz richtig ergeben die Formeln, dafs gegen die Mitte zu, wo die elliptischen Vibrationen beinahe Kreise werden, diese Verdunkelung nicht kenntlich seyn kann. Wenn man den Turmalin in eine schiefe Stellung bringt, so ergiebt sich aus den Formeln ein nicht mehr gleicher Werth des Abstands von der Mitte für gleiche Farben, sondern ein so verzogener Kreis, wie Fig. 121. oder die für etwas verschiedene Umstände gezeichnete Figur von Airy es angiebt, und auch die Form des kurzarmigen Kreuzes entspricht den Formeln.

133. Airy wendet dieselben Formeln nun auch auf die Fälle an, wo die durch Totalreflexion veränderten Strahlen gebraucht werden. Läfst man nämlich den ursprünglich polarisirten Strahl durch Fresnel's Parallelepipedum gehn und in einer um 45° gegen die erste Polarisations-Ebene geneigten Ebene die vollkommene Reflexion erleiden, läfst man ihn dann durch eine Krystallplatte gehn und durch den Turmalin zum Auge gelangen, so sind die Farbenringe verschoben, in zwei einander gegenüber stehenden Quadranten ist dieselbe Farbe um ein Viertel eines Zwischenraums der gleichfarbigen Ringe hinaus-, in den andern beiden um ebensoviel hereingerückt (in Vergleichung gegen das, was ohne Zwischenkunft des Parallelepipedums statt fand). Und auch dieses entspricht den richtig zerlegten Vibrationen, mit denen auch eine durch Aenderung der Lage des Parallelepipedums hervorgehende Verzerrung der Ringe übereinstimmt.

Die Erfolge, welche aus dem Durchgange der Strahlen durch zwei entgegengesetzt drehende Bergkrystallplatten hervorgehn, will ich nicht anführen, da sie nach der gleichen oder ungleichen Dicke verschieden sind.

X. Polarisation bei der Zurückwerfung von Metallen.

134. Obgleich, wie nr. 15. angeführt ist, auch bei der

Zurückwerfung des Lichts von Metallen eine Polarisirung eintritt, wodurch das so reflectirte Licht weniger von dem zweiten Spiegel in der Querstellung zurückgeworfen wird und Farbenringe sich, auch wenn der erste Spiegel ein polirtes Metall ist, zeigen, so hat man doch die eigentlichen Gesetze, welche dort statt finden, nicht so leicht entdecken können. Unter den frühern Beobachtungen finde ich nur weniges, das angeführt zu werden verdiente. Brewster machte die Bemerkung, dafs das vom blauen Stahle zurückgeworfene Licht im Doppelspathe zwei ungleichfarbige Bilder zeige[1]. Man sieht dieses sehr gut, wenn man den Lichtstrahl sehr stark gegen die Senkrechte geneigt auf den blauen Stahl fallen läfst und er dann nach der Zurückwerfung durch eine Turmalinplatte geht; wenn da, bei der Drehung der Turmalinplatte, der Spiegelglanz des Stahls sich vermindert, so geht zugleich das Blau in Kupferroth über. Marx hat bei Gold, Kupfer und Messing das ungewöhnliche Bild stets in der eigenthümlichen Farbe des Metalls, das gewöhnliche dagegen weifs beobachtet[2]. Dafs ähnliche Ungleichheiten sich auch bei den Nobili'schen Farbenringen, die durch elektrische Einwirkung auf Metallen entstehn, zeigen, hat Nobili bemerkt und eine Reihe von Beobachtungen daran geknüpft, die aber noch nicht zu Bestimmungen, welche eine klare Uebersicht gewähren, geführt haben[3].

Eine folgenreichere Beobachtung war die von Brewster, dafs bei der Reflexion des Lichts von Metallen eine Veränderung des Strahls entsteht, die zu farbigen Bildern Anlafs giebt, und dafs manche Metalle die Eigenschaft haben, durch wiederholte Reflexionen den Strahl vollkommen geradlinig zu polarisiren[4]. An diese schlofs Biot eine Reihe von Untersuchungen an, von denen ich, da ihre Resultate minder klar sind, als die der meisten übrigen Untersuchungen Biot's, nur einige wenige Bemerkungen hier mittheilen will.

Biot hebt besonders die grofse Verschiedenheit hervor, die sich bei demselben Metalle, namentlich beim Silber, zeigt, je-

1 On philosoph. Instrum. p. 344.
2 Schweigg. Jahrb. XXXII. 240.
3 Poggend. XXII. 614. Schweigg. Jahrb. XXXIII. 207.
4 Ph. Tr. 1815. 158.

nachdem es durch Schleifen die Spiegelglätte erhalten hat oder durch Hämmern auf einem polirten Ambos. Von dem ersteren giebt er an, dafs es einem bedeutenden Theile des reflectirten Lichts die *polarisation mobile* ertheile, das heifst, dieses Licht fähig mache, eben solche farbige Bilder, wie die Gypsblättchen, darzustellen. Da er diese *polarisation mobile* als einen Uebergang zu der gewöhnlichen geradlinigen Polarisation ansah, so fand er es natürlich, dafs bei mehrmaliger Reflexion von solchen Silberflächen die gewöhnliche Polarisation eintrat. Diesen Antheil des Lichts, das anscheinend die *polarisation mobile* angenommen hatte, fand er bei dem durch Hämmern zum Spiegel gemachten Silber noch gröfser und dagegen die zur eigentlichen Polarisirung übergegangene Lichtmenge kleiner; bei polirtem Stahle hingegen war weit mehr Licht schon bei der ersten Zurückwerfung gewöhnlich polarisirt. Die durch Hämmern zur Spiegelglätte gebrachten Silberplatten dienten ihm vorzüglich bei seinen Versuchen. Er liefs einen schon polarisirten Strahl mehrere Reflexionen von parallelen Platten, und zwar in gerader Anzahl, erleiden; wurde dann der mehrmals zurückgeworfene Strahl mit Hülfe eines Kalkspaths untersucht, dessen Hauptschnitt mit der Reflexions-Ebene zusammenfiel, so folgte der Strahl gänzlich der gewöhnlichen Brechung, wenn die Ebene der ursprünglichen Polarisation mit der Reflexions-Ebene zusammenfiel, sobald aber die letztere von jener abwich, gingen zwei farbige Bilder hervor, die bei nicht zu vielen Reflexionen ihre gröfste Lebhaftigkeit erhielten, wenn jene Abweichung 45° betrug. Die Farbe selbst hing vom Einfallswinkel ab[1].

135. Diese Untersuchungen scheinen wohl darum zu keinem eigentlichen Resultate geführt zu haben, weil Biot zu jener Zeit an eine Polarisation, der Circularpolarisation ähnlich, gar nicht denken konnte und diese doch hier statt zu finden scheint. Es ist Brewster's Verdienst, dieses zuerst dargethan zu haben[2], und Neumann[3] hat durch wichtige theoretische Untersuchungen den Werth jener Bestimmungen noch mehr ins Licht gesetzt. Ich werde die Resultate beider Untersu-

1 Biot Traité IV. 582.
2 Ph. Tr. 1830. 287. Poggend. XXI. 219.
3 Poggend. XXVI. 89.

chungen, so gut es mir möglich ist, vereinigt hier mittheilen.

Zuerst verdient der Umstand, der bei den Metallspiegeln fast so wie bei unbelegtem Glase statt findet, hervorgehoben zu werden, dafs auch hier der schon polarisirt einfallende Strahl sehr viel schwächer reflectirt wird, wenn die Zurückwerfungs-Ebene senkrecht gegen die Ebene der ursprünglichen Polarisation ist, als wenn beide zusammenfallen, indefs wird auch bei dem Winkel, der hier der Winkel vollkommenster Polarisation heifsen müfste, der vom Metallspiegel zurückgeworfene Strahl nicht = 0, wenn auch beide Ebenen auf einander senkrecht stehn, sondern er ist nur bei diesem Einfallswinkel kleiner, als bei jedem andern.

136. Weit wichtiger aber sind die Erscheinungen, die bei der Zurückwerfung von Metallen auf eine elliptische Polarisation hindeuten. Wenn ein geradlinig polarisirter Strahl durch zwei Totalreflexionen, deren Ebene + 45° gegen die Polarisations-Ebene geneigt war, die kreisförmige Polarisation erlangt hat, so reichen zwei neue, den vorigen ganz gleiche, Totalreflexionen hin, um ihn wieder in den Zustand der geradlinigen Polarisation in einer unter — 45° gegen die letzte Reflexions-Ebene geneigten Ebene zu versetzen[1]. Wenn dagegen unter dem bestimmten Einfallswinkel, den wir auch hier den Polarisationswinkel nennen wollen, ein polarisirter Strahl von einem Metallspiegel zurückgeworfen wird und die Reflexions-Ebene + 45° gegen seine ursprüngliche Polarisations-Ebene geneigt ist, so wird er dadurch in einen Zustand versetzt, der ebenso wie dort von der gewöhnlichen Polarisation verschieden ist, und aus dem er durch eine zweite Reflexion von einem dem vorigen parallelen Metallspiegel zwar auch wieder in den Zustand der geradlinigen Polarisation zurückgebracht wird, aber so, dafs die Richtung der neuen Polarisations-Ebene weniger als 45° nach der andern Seite liegt. Dieser Winkel nähert sich bei reinem Silber, wo er — 39° 48′ ist, den vollen 45° am meisten, und der durch *eine* Reflexion von Silber (unter dem Polarisationswinkel und unter + 45° Azimuth) modificirte Strahl ist also der Circularpolarisation am nächsten; bei Kupfer, wo dieser Winkel = — 29°, bei Stahl,

1 Vgl. nr. 124. 125.

wo er $= -17°$, bei Bleiglanz, wo er $= -2°$ ist, entfernt der Strahl sich bei den später genannten Metallen mehr als bei den früher genannten von der Circularpolarisation, und wir schreiben ihm eine elliptische Polarisation zu, die beim Bleiglanz schon fast völlig in die geradlinige Polarisation übergegangen ist.

137. NEUMANN's theoretische Betrachtungen rechtfertigen diesen Namen. Denkt man sich nämlich den unter $+45°$ polarisirten Strahl in zwei, jeden von der Intensität $=1$, zerlegt, deren einer in der Reflexions-Ebene, der andere gegen sie senkrecht polarisirt ist, so werden diese beiden in ungleicher Intensität reflectirt und wir wollen die verhältnifsmäfsige Vibrationsgeschwindigkeit in jenem $=s$, in diesem $=p$ setzen. Legen wir nun, aus Gründen, die im Vorigen nr. 128. angegeben sind, der einen Undulation eine Verzögerung $= \frac{\delta}{\lambda}$ in Vergleichung gegen eine ganze Undulation λ bei, so ist die eine in der Phase $\left(\frac{t}{T} - \frac{\delta}{\lambda}\right) 2\pi$, wenn die andere in der Phase $\frac{t}{T} \cdot 2\pi$ ist, und die Entfernungen von der Gleichgewichtslage werden durch

$$x = a p \text{ Cos. } \left(2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\delta}{\lambda}\right)\right) \text{ für die eine,}$$

$$y = a s \text{ Cos. } \left(\frac{2\pi t}{T}\right) \text{ für die andere}$$

ausgedrückt[1]. Aus diesen Gleichungen läfst sich $\frac{t}{T}$ eliminiren und man erhält

$$\left(\frac{x}{p}\right)^2 + \left(\frac{y}{s}\right)^2 - 2\frac{x}{p}.\frac{y}{s} \text{ Cos. } \left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right)$$
$$= a.^2 \text{ Sin.}^2 \left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right),$$

die Gleichung für eine Ellipse, deren Haupt-Axe gegen die Reflexions-Ebene unter dem Winkel $= \alpha$ geneigt ist, für welchen

$$\text{Tang. } 2\alpha = \frac{\frac{2p}{s}}{1 - \frac{p^2}{s^2}} . \text{ Cos. } \frac{2\pi\delta}{\lambda}$$

---

1 Vgl. Art. *Undulation*, *Undulationstheorie*.

oder $\text{Tang. } 2\alpha = \text{Tang. } 2\beta . \text{ Cos. } \frac{2\pi\delta}{\lambda}$ ist, wenn $\text{Tang. } \beta = \frac{p}{s}$. Diesen Werth von α mufs man nämlich in die Gleichung setzen, die auf Coordinaten u, v, die unter dem Winkel $= \alpha$ gegen die vorigen geneigt sind, sich bezieht, und dann erhält man $a^2 p^2 s^2 \text{ Sin.}^2 \left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right)$

$$= u^2 \left\{ s^2 \text{ Cos.}^2 \alpha + p^2 \text{ Sin.}^2 \alpha - ps \text{ Sin. } 2\alpha . \text{ Cos. } \left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) \right\}$$

$$+ v^2 \left\{ s^2 \text{ Sin.}^2 \alpha + p^2 \text{ Cos.}^2 \alpha + ps \text{ Sin. } 2\alpha \text{ Cos. } \left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) \right\},$$

woraus für $v = 0$ die eine, für $u = 0$ die andere Axe der Ellipse gefunden wird.

Wenn die Zurückwerfung n mal unter demselben Winkel statt findet, so ergiebt sich derselbe Ausdruck, nur mufs man p^n statt p, s^n statt s und $n\delta$ statt δ setzen. Findet sich dann, wie bei Brewster's unter dem Polarisationswinkel mit Metallen angestellten Beobachtungen, dafs bei diesem Winkel schon die zweite Reflexion ($n = 2$) eine neue geradlinige Polarisation giebt, so mufs die Gleichung für die Ellipse eine gerade Linie werden, welche fordert, dafs $\text{Sin } \frac{2\pi n \delta}{\lambda} = 0$ oder hier $\text{Sin. } \frac{4\delta\pi}{\lambda} = 0$ sey, womit $x = \pm \frac{p^2 y}{s^2}$ verbunden ist. In diesem Falle wird $\text{Tang. } 2\alpha' = \text{Tang. } 2\beta'$, also $\text{Tang. } \alpha' = \text{Tang. } \beta' = \frac{p^2}{s^2}$, indem hier (für $n = 2$) $\text{Tang. } \beta'$ diesen Werth erhält.

Hier könnte nun allgemein $\frac{4\delta\pi}{\lambda} = m . \pi$ seyn, aber nach Brewster ist α negativ, die Polarisations-Ebene also nach der andern Seite liegend, daher $\text{Cos. } \frac{4\delta\pi}{\lambda} = -1, \frac{4\delta\pi}{\lambda} = \pi(2m+1)$, und endlich läfst sich aus andern Gründen zeigen[1], dafs m eine gerade Zahl seyn, also $\frac{\delta}{\lambda}$ einen Ueberschufs von ein Viertel einer Undulation über ganze Undulationen geben mufs, und

---

1 Poggend. XXVI. 117. Anm.

wir können daher hier die Folgerung ziehn, daſs bei Zurückwerfungen von Metall unter dem Polarisationswinkel die Verzögerung der einen Vibration $\frac{1}{4}$ einer Undulation betragen muſs, weil bei zwei Reflexionen die Polarisation wieder geradlinig ist. Brewster's Beobachtung bestimmt für die von ihm untersuchten Metalle den Winkel α, der zum Beispiel, wie oben angeführt worden, für Silber 39° 48', für Stahl 17° ist.

138. Wenn der Einfallswinkel ein anderer ist, so wird erst nach mehrmaligen Reflexionen unter immer gleichem Winkel die geradlinige Polarisation hergestellt, und hier ist, wenn n die Anzahl dieser Reflexionen bezeichnet, $\text{Sin.}\frac{2\pi n\delta}{\lambda}=0$. Nach Brewster's Bestimmung ist hier n allezeit gröſser als 2, es mag der Einfallswinkel $= J$ gröſser, als der Polarisationswinkel, oder $= J'$ kleiner als der Polarisationswinkel seyn. Aber eben diese Beobachtungen zeigen, daſs bei Winkeln J die Lage der Polarisations-Ebene immer negativ, nämlich an der andern Seite der Reflexions-Ebene ist, bei Winkeln J' dagegen negativ, wenn n eine gerade Zahl, positiv, wenn n eine ungerade Zahl ist. Da nun im Allgemeinen $\text{Cos.}\frac{2\pi n\delta}{\lambda}=\pm 1$ und $\text{Tang.}\,\alpha=\pm\frac{p^n}{s^n}$ seyn könnte, so müssen wir für die Winkel J, wo der Strahl weiter vom Perpendikel entfernt, als bei dem Polarisationswinkel, auffällt, $\frac{2\pi n\delta}{\lambda}=\pi(2m+1)$ setzen, oder, weil für $n=2$ $m=0$ angenommen werden konnte, $\delta=\frac{\lambda}{2n}$. Für Winkel J' dagegen ist $\delta'=\left(1-\frac{1}{n}\right)\frac{\lambda}{2}$, wodurch der Wechsel der Zeichen des Cosinus richtig hervorgeht.

Kennt man also zwei Winkel J und J', welche eine gleiche Anzahl Reflexionen fordern, um die geradlinige Polarisation herzustellen, so ist die Summe der beiden Verzögerungen der Undulation $=\frac{\delta+\delta'}{\lambda}=\frac{1}{2}$, eine halbe Undulation, also betragen die Phasen, welche der Verzögerung in beiden Fällen entsprechen, zusammen 180°. Beim Stahl zum Beispiel sind 5 Reflexionen nöthig, damit die Polarisation wieder

geradlinig werde, sowohl wenn der Einfallswinkel $J = 84° 38'$, als auch wenn $J' = 56° 5'$ ist (die Beobachtung gab $84° 0'$ und $56° 25'$), und wenn man die Reflexion sich 10- oder 15mal wiederholen liefs, so war die Polarisation immer aufs neue zur geradlinigen zurückgeführt; aber keineswegs verstärkte die Wirkung bei dem einen Einfallswinkel die bei dem andern, sondern wenn eine Reflexion unter 84° 38' statt gefunden hatte und eine zweite unter 56° 5' folgte, so war der Strahl wieder geradlinig polarisirt.

Da p und s hier die Verhältnisse der Schwächung der beiden Strahlen bei *verschiedenen* Einfallswinkeln angeben, so sind sie nicht als beständige Gröfsen anzusehn, sondern wenn man beim Stahl $\frac{p}{s} = \sqrt{\text{Tang. } 17°} = \text{Tang. } 28° 56'$ für den eigentlichen Polarisationswinkel fand, so würde man für die eben erwähnten Winkel, wo 5malige Reflexion erforderlich war, um eine geradlinige Polarisation zu erhalten, und wo, nach Brewster, die Polarisations-Ebene eine Neigung von 10° 30' hatte, $\frac{p}{s} = \sqrt[5]{\text{Tang. } 10° 30'} = \text{Tang. } 35° 31'$ erhalten. Diese Werthe lassen sich, wenn man $\frac{p}{s} = \text{Tang.} \beta$ setzt, durch die Formel $\text{Tang. } 2\beta = \frac{\text{Tang. } 2(28° 56')}{\text{Sin. } \frac{2\delta\pi}{\lambda}}$ darstellen, wo 28° 56' der Winkel ist, den die Erfahrung als Werth von β für die vollkommenste Polarisation angab[1] und der bei jedem einzelnen Metalle ein anderer ist[2].

Brewster hat den Winkel, welcher die Verzögerung der Undulation ausdrückt, mit der Aenderung der Polarisations-Ebene bei gewöhnlicher Reflexion am Glase in Verbindung gesetzt. Für diese fanden wir (nr. 38.) $\text{Tang. } \varphi = \frac{\text{Cos. } (i + i')}{\text{Cos. } (i - i')}$, wenn ich dort φ statt α' und $\alpha = 45°$ setze. Dort bedeutete i den Einfallswinkel und i' den Brechungswinkel; nehmen wir also beim Stahle $i = 75°$ als den Winkel vollkommener Pola-

---

1 Nämlich $\text{Tang. } \beta = \sqrt{\text{Tg. } 17°}$.

2 Neumann glaubt, dafs nach dem Zusammenstimmen aller Beobachtungen der Winkel 28° 56' fast um 1° gröfser anzusetzen sey.

risation an, so ist (nach nr. 12.) Tang. $75° = 3{,}732$ der Brechungs-Index, und in jedem Falle $\mathrm{Sin.}\, i' = \frac{1}{3{,}732}\, \mathrm{Sin.}\, i$. Für $i = 84° 38'$ würde also $i' = 15° 28',5$ seyn, $\varphi = 26° 16'$, und die Verzögerungsphase $\frac{2\pi\delta}{\lambda}$ ist $= 90° - 2\varphi = 37° 28'$. Für $i = 56°,5'$ würde $i' = 12° 51'$ und φ wieder $= 26° 16'$, wie es der übereinstimmenden Wirkung bei diesen zwei Werthen von i gemäfs ist.

139. Brewster macht für die Fälle, wo eine ungerade Zahl gleicher Reflexionen die Polarisation wieder zur geradlinigen zurückführt, die Bemerkung, dafs man hier die vollkommenste elliptische Polarisation als in der Mitte zwischen zwei Reflexionen liegend, z. B. $2\frac{1}{2}$ Reflexionen entsprechend, ansehn müsse. Er sieht dieses so an, als ob sie erreicht werde, wenn der Strahl seine gröfste Tiefe in der Metallfläche erreicht hat. Auch die Circularpolarisation kann so bewirkt werden, dafs sie bei $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ Totalreflexionen vollkommen erreicht oder bei 5, 7 Reflexionen zu einer ebenso weit als die ursprüngliche abweichenden geradlinigen Polarisation zurückgeführt wird.

140. Eine andere Reihe der Versuche Brewster's betrifft die Frage, welche Aenderungen der Strahl erleidet, wenn die zweite Reflexion nicht in derselben Ebene, wie die erste, geschieht. In diesem Falle bedarf es bei jeder Neigung (Azimuth) der zweiten Reflexions-Ebene gegen die erste eines andern Einfallswinkels, um durch eine einzige neue Reflexion den Strahl zur geradlinigen Polarisation zurückzuführen. Ich nehme hier blofs das Beispiel von einem Strahle, der vom Stahlspiegel unter 75° Einfallswinkel und 45° Neigung der ursprünglichen Polarisations-Ebene elliptisch polarisirt zurückgeworfen ist. Dieser fordert abermals 75° Einfallswinkel, wenn er unter 0°, 90°, 180°, 270° Azimuth der zweiten Reflexions-Ebene gegen die erste zurückgeworfen wird. Ist dagegen dieses Azimuth 45° oder 225°, so ist der Einfallswinkel $= 78°$ erforderlich; ist es 135° oder 315°, so mufs er $= 68°$ seyn, und wenn man $90° - 78° = 12°$ und $90° - 68° = 22°$ als Axen einer Ellipse annimmt, so entsprechen die sämmtlichen Radien der Ellipse, nach Winkeln, die den Differenzen der Azimuthe gleich sind, eingetragen, der Ergänzung der Ein-

fallswinkel zu 90°, die auf ähnliche Weise zu Herstellung der geradlinigen Polarisation erfordert werden. Diese von Brewster angegebene Uebereinstimmung mit der Ellipse kann man indefs nicht gerade als vollkommen streng ansehn, da Neumann, der auch diese Versuche theoretisch beleuchtet, zeigt, dafs die beobachteten Winkel wohl um mehr als 1° unsicher sind. Eben diese höchst schätzenswerthe Untersuchung Neumann's, die überhaupt in den ganzen Gegenstand mehr Licht und Zusammenhang bringt, zeigt, dafs die Theorie alles das finden lehrt, was Brewster's Versuche ergeben, und dafs selbst die erheblich scheinenden Abweichungen der Theorie von der Erfahrung als gering erscheinen, wenn man richtig aufsucht, welche geringe Aenderungen der den theoretischen Bestimmungen zum Grunde gelegten Zahlen nur erforderlich sind, um bei den entferntern Resultaten mehr Uebereinstimmung hervorzubringen. In Rücksicht auf das Einzelne mufs ich auf jene beiden Abhandlungen verweisen.

141. Aber einen sehr merkwürdigen Umstand mufs ich noch hervorheben. Der Winkel des Polarisations-Maximums ist, wie sich erwarten läfst, nicht gleich für die verschiedenen farbigen Strahlen. Beim Silber z. B. ist der Polarisationswinkel = 73° für die hellsten (die mittlern gelben) Strahlen, dagegen 70°,5 für die blauen, 75°,5 für die rothen. Wenn man also einen weifsen Lichtstrahl zweimal unter 70°,5 vom Silber zurückwerfen läfst, so ist zwar der blaue Strahl zur geradlinigen Polarisation, und dieses in der Ebene, deren Neigung — 39° 48′ ist, zurückgeführt, aber der rothe ist nicht zur geradlinigen Polarisation zurückgeführt. Stellt man daher den Hauptschnitt des zerlegenden Prisma's in — 39° 48′, so geht vom blauen Strahle nichts in das ungewöhnliche Bild über, wohl aber von den rothen Strahlen. Aber hier verdient nun ein unerwarteter Umstand hervorgehoben zu werden. Da wir die Tangente des Polarisationswinkels als das Brechungsverhältnifs angebend ansehn können, so ist dieses für Silber bei den rothen Strahlen = Tang. 75° 30′ = 3,866, bei den blauen Strahlen = Tang. 70° 30′ = 2,824. Ganz gegen alle sonst bekannten Erfahrungen würde also hier der rothe Strahl weit stärker als der blaue gebrochen, oder wenigstens wird, wie Neumann es ausdrückt, die gleiche Verzögerung δ bei blauem Lichte unter einem kleineren Einfallswinkel hervorge-

bracht. Diese Abweichung von allem, was uns sonst bekannt ist, verdient um so mehr Aufmerksamkeit, da sie mit Fresnel's Formeln (namentlich mit der am Ende von nr. 128.) nicht übereinstimmt und nach Brewster's Angabe eine ähnliche Abweichung auch bei der Totalreflexion statt findet.

XI. Polarisation des Lichts bei der Zurückwerfung von Luft und Dünsten.

142. Es ist schon im Anfange dieses Artikels mehrmals bemerkt worden, dafs man da, wo unpolarisirtes Licht gebraucht werden soll, sich gern des Lichts weifser Wolken oder eines ganz bedeckten, weifsen Himmels bedient. Dieses Licht hat vor dem Lichte des blauen Himmels den Vorzug, weil das letztere selbst schon polarisirt ist. Wenn man eine Doppelspathplatte, senkrecht gegen die Axe geschnitten, auf eine Turmalinplatte legt und beide vereinigt, so dafs der Turmalin dem Auge am nächsten ist, vor das Auge hält, so sieht man, nach dem *blauen* Himmel blickend, die schönsten Farbenringe, wenn man nach einem ziemlich weit von der Sonne entfernten Puncte hin blickt. Giebt man dem Turmalin die Lage, dafs er das in der Vertical-Ebene polarisirte Licht nicht durchläfst, so sieht man die Farbenringe mit dem schwarzen Kreuze an der der Sonne gegenüberstehenden Seite des Himmels; behält man eben die Lage des Turmalins bei und geht nun gegen die Sonne zu, so zeigen sich die aus acht Stücken bestehenden Farbenringe und endlich bei etwa 90° Abstand von der Sonne die Farbenringe mit weifsem Kreuze; bei noch mehr Annäherung zur Sonne werden die Farben immer matter und verschwinden endlich ganz.

Offenbar wird das Licht, indem es von den Lufttheilchen zurückgeworfen wird, theilweise polarisirt und die Ebene der Polarisation ist vertical, wenn man nach einer der Sonne gegenüber liegenden Gegend hinsieht; dagegen wenn man in etwa gleicher Höhe mit der Sonne den Punct, wohin man das Auge richtet, nur etwa 90° von der Sonne entfernt wählt, so ist die Polarisations-Ebene horizontal. Hiermit ist, wie ich glaube, die ganze Erscheinung einfach erklärt.

Auch die weifsen Wolken zeigen bei starker Erleuchtung

von der Sonne Spuren eben solcher Polarisation des von ihnen zurückgeworfenen Lichts, aber je mehr der Himmel gleichförmig weiſs bedeckt ist, je mehr also die Zurückwerfung eines von allen Seiten ziemlich gleichen Lichts statt findet, desto weniger wird eine Polarisation merklich.

von Göthe hat diese Erscheinung und ihren Wechsel nach den Tagszeiten zum Gegenstande einer nähern Betrachtung gemacht, aber auch Brewster und Biot hatten sie schon gleich beim Anfange ihrer Untersuchungen über diesen Gegenstand bemerkt [1].

v. Göthe hat es sich besonders angelegen seyn lassen, zu zeigen, daſs man mit Hülfe dieses vom Himmel polarisirt zu uns kommenden Lichts die Seebeck'schen Figuren darstellen könne; da aber seine Darstellung wenig wissenschaftliche Belehrung gewährt, so halte ich nicht für nöthig, die einzelnen Beobachtungen hier anzuführen.

Daſs auch das aus dem Regenbogen reflectirte Licht sich als polarisirt zeige, hat Brewster sowohl als auch v. Göthe bemerkt.

XII. Absorption des polarisirten Lichts.

143. Da der Turmalin mit so groſsem Vortheile bei fast allen bisher betrachteten Versuchen über die Polarisation angewandt wird, so war es unvermeidlich, von seiner Eigenschaft, das in der Ebene seines Hauptschnitts polarisirte Licht zu absorbiren, schon an einer andern Stelle zu reden; aber diese Absorption des polarisirten Lichts bietet noch zu manchen weiteren Betrachtungen Veranlassung dar [2].

Die im Art. *Farben* [3] angegebenen Untersuchungen Herschel's müssen hier in Beziehung auf jeden der beiden durch Doppelbrechung entstehenden Strahlen besonders durchgeführt werden, da der eine Strahl oft im Ganzen, oft auch in Be-

---

1 v. Göthe zur Morphologie. I. S. 16. 32. 144. 170. 246. Brewster on philos. Instrum. p. 349. Biot Traité IV. 338. Kastner's Archiv. X. 257.

2 Daſs der Dichroit zu ähnlichem Zwecke diene, giebt Marx an. Poggend. VIII. 248.

3 S. 115.

ziehung auf einzelne Farben, ein anderes Gesetz als der andere befolgt. Da, wo das erstere der Fall ist, erscheint der Körper ungleich durchsichtig, wenn man polarisirtes Licht nach einer Richtung oder nach einer andern Richtung durchgehn läfst, im zweiten Falle tritt ein Farbenwechsel, ein *Dichroismus*, ein, je nachdem der Lichtstrahl in verschiedenen Richtungen durchgeht. Nach Herschel's allgemeiner Ansicht ist die Absorption des Lichts bei allen durchsichtigen Körpern abhängig von dem Orte, den der auffallende Farbenstrahl im prismatischen Farbenbilde einnimmt, so dafs, wenn man eine Abscissenlinie in den Verhältnissen, wie es die rothen, gelben, grünen Theile des prismatischen Farbenbildes fordern, eintheilt, man die Intensität jedes durchgelassenen Farbenstrahls als Ordinate an dem Orte, welchem diese Farbe entspricht, auftragen und so eine, für jeden farbigen durchsichtigen Körper anders ausfallende, Scale der durchgelassenen Farben auftragen kann. Diese Scale ist bei einigen Körpern anders für den einen, als für den andern, bei der Doppelbrechung entstandnen Strahl, und überdiefs wird bei einigen die Scale für einen schon polarisirten Strahl anders nach Verschiedenheit der Neigung der Polarisations-Ebene gegen den Hauptschnitt oder nach Verschiedenheit der Neigung des Strahls gegen die Axe des Krystalls.

144. Um die Anwendung dieser theoretischen Betrachtungen nur an einem leichtern Falle zu zeigen, theile ich aus Herschel's Untersuchungen Folgendes mit. Da die Intensität des durchgelassenen Lichts in den beiden, bei der Doppelbrechung entstehenden Strahlen von der Neigung $= \vartheta$ gegen die Axe doppelter Brechung abhängt, so sey A die Intensität und Färbung des nach der Richtung der Axe durchgelassenen, B die Intensität und Färbung des bei gleicher Dicke senkrecht gegen die Axe durchgelassenen unpolarisirten Lichts; dann wird man das in jeder Richtung durchgelassene Licht durch

$$A.\ \mathrm{Cos.}^2\,\vartheta + B.\ \mathrm{Sin.}^2\,\vartheta$$

ausdrücken können. Als Beispiel hierfür führt Herschel das schwefelsaure Eisen-Suboxyd an, welches in sechsseitigen Prismen krystallisirt und nach der Axe der Prismen (wenn die Stücke nicht zu dick sind) blutroth, durch die Seitenflächen angesehn blafsgrün erscheint; hier gehn, so genau sich dieses abmessen läfst, die Farben aus einer in die andere so über,

dafs die eine Färbung nach dem Quadrate des Cosinus abnimmt, während die andere nach dem Quadrate des Sinus des Winkels ϑ lebhafter hervortritt.

Herschel's fernere Untersuchungen und Formeln mufs ich, da sie keinen Auszug gestatten und sein Buch allgemein genug verbreitet ist, übergehn, und werde dagegen Brewster's Erfahrungen noch im Auszuge mittheilen [1].

145. Brewster führt zuerst, als Beispiel von Absorption des Lichts in einaxigen Krystallen, einen gelblichen Doppelspath an, wo das ungewöhnliche Bild mehr orangegelb, das gewöhnliche Bild mehr weifslich gelb war. Wenn man auf diesen Doppelspath polarisirtes Licht so fallen liefs, dafs man nur *einen* Strahl erhielt, so war auch hier das durchgelassene Licht mehr orangegelb bei dem ungewöhnlichen, mehr weifslich gelb bei dem gewöhnlichen Strahle. In diesem Falle konnte also nicht das gelbe Licht aus einem Bilde in das andere übergegangen seyn, sondern von dem ungewöhnlichen Strahle ging durch Absorption weifses Licht, vom gewöhnlichen Strahle ging durch Absorption gelbes Licht verloren. Eine andere Erfahrung bot ein bläulichgrüner Beryll dar. Liefs man durch diesen einen polarisirten Lichtstrahl gehn, so zeigte sich das durchgelassene Licht blau, wenn die Axe des Berylls senkrecht auf der Polarisations-Ebene stand, und grünlich weifs, wenn die Axe in der Polarisations-Ebene lag; bei den dazwischen liegenden Stellungen ging die eine Farbe in die andere über. Ein aus dem Beryll geschnittenes Prisma, welches die beiden, durch doppelte Brechung entstandenen Bilder von einander trennt, zeigt auch diese Bilder in eben jenen ungleichen Farben. Brewster führt eine Reihe anderer Körper an, die ähnliche Erscheinungen darboten. Ein Amethyst liefs den polarisirten Strahl als blau durch, wenn die Axe sich in der Ebene der Polarisation befand, als hellroth, wenn die Axe senkrecht gegen diese Ebene war. Beim Idokras war Gelb im ersten, Grün im zweiten Falle, beim phosphorsauren Blei lichtes Grün und Orangegelb. Unter den zweiaxigen Krystallen, die Brewster anführt, hebe ich auch nur einige aus, und gebe zuerst die Farbe an, die der Strahl zeigt, wenn

---

1 Ph. Tr. 1819. 11. und G. LXV. 4. Einige Versuche mit dem Epidot von Liboschitz. G. LXIV. 427.

die Ebene durch beide Axen mit der Ebene der primitiven Polarisation zusammenfällt, und dann wenn beide auf einander senkrecht sind. Blauer Topas, weiſs, blau; grüner Topas, weiſs, grün; gelblich purpurfarbener schwefelsaurer Baryt, citronengelb, purpurfarben; Dichroit, blau, gelblich weiſs; Epidot, braun, saftgrün; essigsaures Kupfer, blau, grünlich gelb; chromsaures Blei, orange, blutroth u. s. w.

Als eine bestimmte Regel giebt Brewster es an, daſs einaxige Krystalle, die zwei gleichfarbige Bilder zeigen, auch von dieser Absorption des polarisirten Lichts frei sind, und daſs Krystalle, die keine doppelte Brechung zeigen können, die kubisch krystallisirenden zum Beispiel, auch diese Eigenschaften der Absorption nicht besitzen.

146. Wenn man ein Prisma aus übersaurem essigsaurem Kupfer den Sonnenstrahlen aussetzt, so daſs die Refractions-Ebene senkrecht auf die Axe des rhomboidalen Prisma's ist, und der Strahl durch den Winkel des Rhomboids geht, der $= 70°$ ist, so erscheinen zwei Sonnenbilder, das am meisten gebrochene grünlich gelb, das weniger gebrochene tief blau. Hat man eine Platte dieses Salzes so dünn geschliffen, daſs sie durchsichtig ist, so hat sie eine schöne grüne Farbe. Wird sie dem polarisirten Lichte ausgesetzt, so daſs die Axe des rhomboidalen Prisma's in der Ebene der primitiven Polarisation ist, so ist der durchgelassene Strahl tief blau; bei einer Drehung von 90° ist er in grünlich gelb übergegangen. Wenn die Facen der Platte senkrecht sind gegen eine der resultirenden Axen, so bildet das grüne und das blaue Licht die Form eines Kreuzes, dessen Aeste von den Polen keiner Polarisation divergiren.

Der Dichroit, dessen Krystallform die eines Prisma's ist, erscheint dunkelblau, wenn man nach der Richtung der Axe durch ihn sieht, und gelblich oder grau in der gegen sie senkrechten Richtung, wenn unpolarisirtes Licht auffällt. Schneidet man aus ihm eine Platte, die zwei gegen die eine Axe doppelter Brechung und zwei gegen die zweite Axe doppelter Brechung senkrechte Seitenflächen hat[1], und setzt sie einem polarisirten Lichtstrahle so aus, daſs die Ebene der Axen senk-

1 Diese Axen sind nach Brewster 31° 25′ gegen die Axe des Prisma's und 62° 50′ gegen einander geneigt.

recht auf die Ebene der ursprünglichen Polarisation ist, so zeigen sich Aeste blauen und weifsen Lichts von den Polen divergirend. Wenn die Ebene der Axen mit der Ebene der primitiven Polarisation zusammenfällt, so zeigen sich in den Polen weifse Lichtpuncte und alles übrige ist tief blau.

147. Die Erhitzung äufsert auf diese Eigenschaft, gewisse Farben zu absorbiren, oft den entschiedensten Einflufs. Bei einem Topas, dessen einer bei der Doppelbrechung entstehender Strahl gelb, der andere blafsroth war, zeigte sich nach dem Glühen, dafs das Gelb fast vollkommen verloren gegangen war, dagegen das Roth nur eine geringe Veränderung erlitten hatte. Die Juweliere kennen dieses Mittel, durch Erhitzen aus gelben Topasen blafsrothe zu machen, und es ist daher in dieser Beziehung bemerkenswerth, dafs man die Fähigkeit eines Topases, durch Erhitzen roth zu werden, daran erkennen kann, dafs eines der doppelten Bilder diese Farbe schon vorher zeigt.

148. Wie aber die innere Beschaffenheit der Körper seyn mag, vermöge welcher eine oft so sehr ungleiche Absorption der Farbenstrahlen in dem verschieden polarisirten Lichte statt findet, darüber ist nicht so leicht zu urtheilen, doch theilt Herschel folgende Betrachtung hierüber mit. Diese zweifarbigen Körper haben bei nicht allzu geringer Dicke die Eigenschaft, dafs unpolarisirtes Licht, wenn es nicht in der Richtung der Axe durchgeht, polarisirt hervorkommt. Eine solche Wirkung mufs durch jede Unterbrechung der Continuität in einigem Grade bewirkt werden. Denn wenn ein Blättchen von anderer Beschaffenheit zwischen den Krystalltheilchen liegt, so werden beide Strahlen an demselben nicht gleichmäfsig reflectirt, ja es könnte sich wohl ereignen, dafs das Blättchen dieselbe *gewöhnliche* Brechung verursachte, wie der Krystall, wo dann der gewöhnliche Strahl ungehindert durchginge, der ungewöhnliche aber durch Reflexion eine Schwächung erlitte. Auf diese Weise könnte gar wohl, vorzüglich wenn diese Zwischenschichten keine Ebenen, sondern unregelmäfsige Flächen sind, eine grofse Schwächung des einen Strahls mit einer unbedeutenden Schwächung des andern Strahls zusammengehören.

B.

Polarisation der Wärme.

Berard hat zu bemerken geglaubt, dafs unter denselben Umständen, wo bei Anwendung zweier Spiegel, um das polarisirte Licht unter dem Polarisationswinkel zurückzuwerfen, die Reflexion der Lichtstrahlen vom zweiten Spiegel aufhört, auch die Wärmestrahlen sich der Zurückwerfung entziehn. Er hat den Versuch so angestellt, dafs die zum zweiten Male reflectirten Lichtstrahlen ein Thermometer trafen, und dabei gefunden, dafs keine Erwärmung mehr merklich war, wenn die Lichtstrahlen nicht mehr zurückgeworfen wurden[1]. Aber Powell hat diese Verschiedenheit, dafs die Erwärmung merklich sey, sobald noch Licht zurückgeworfen werde, und aufhöre merklich zu seyn, wenn dieses nicht mehr der Fall ist, nicht wahrnehmen können[2]. Dafs aber doch auch die Wärmestrahlen eine Modification, die der Polarisation des Lichts ähnlich seyn mag, beim Durchgange durch transparente Körper erleiden, wird wahrscheinlich durch die Versuche von Delaroche[3], wo sich zeigte, dafs Wärmestrahlen, die schon durch *einen* Glasschirm gegangen waren, bei weitem nicht so viel an ihrer erwärmenden Kraft beim Durchgange durch einen zweiten Schirm verloren, als sie bei dem Durchgange durch den ersten verloren hatten; eine Erscheinung, die der in dem vorigen Artikel nr. 21. erwähnten sehr ähnlich ist.

B.

Polarkreis.

Circulus polaris; cercle polaire; *the polar circle.* Die beiden Polarkreise, die man sich an die Himmelskugel und auf der Erdkugel gezeichnet denkt, sind Parallelkreise zum Aequator, die um so viel, als die Schiefe der Ekliptik beträgt, von den Polen der Himmelskugel oder der Erdkugel abstehn. Dafs der *nördliche Polarkreis* (*circulus polaris arcticus*) vom *südlichen Polarkreise* (*antarcticus*) unterschieden wird, indem der eine dem einen Pole, der andere dem andern angehört, erhellt leicht.

1 G. XLVI. 382.
2 Brewster Journ. of Science. V. 206. (Octob. 1831.)
3 Journ. de Phys. LXXV.

Am Himmel ist der Polarkreis derjenige, in welchem einer der Pole der Ekliptik seinen täglichen scheinbaren Umlauf um den Pol vollendet. Auf der Erde bilden die Polarkreise die Grenze zwischen der kalten und gemäſsigten Zone sowohl auf der einen, als auch auf der andern Halbkugel. Jedem Orte, der auf der Erde im Polarkreise liegt, steht in jedem Augenblicke ein Punct des Polarkreises der Himmelskugel im Zenith. Die Orte auf dem Polarkreise sehn am längsten Tage die Sonne gar nicht untergehn, sondern, wenn die Strahlenbrechung nicht eine Aenderung machte, würde der Mittelpunct der Sonne an diesem Tage im Norden genau den Horizont erreichen, an jedem andern Tage aber wenigstens kurze Zeit unter dem Horizonte verweilen. Am kürzesten Tage würde, abgesehn von der Refraction, auf dem Polarkreise, selbst am Mittage, der Mittelpunct der Sonne nur den Horizont berühren, ohne über den Horizont hervorzukommen. Die innerhalb des Polarkreises liegende *Polarzone* unterscheidet sich daher von der *gemäſsigten Zone* dadurch, daſs in jener der Mittelpunct der Sonne um die Zeit der längsten Tage länger als 24 Stunden über dem Horizonte verweilt und dagegen auch in den kürzesten Tagen in einer Zeit, länger als 24 Stunden, nicht aufgeht; je tiefer man in die Polarzone eintritt, desto länger wird die Reihe von Tagen, wo im Sommer die Sonne nicht untergeht und im Winter nicht aufgeht. Der nördliche Polarkreis geht durch Lappland, Sibirien, die nördlichsten Gegenden von America, durch Grönland und Island; der südliche geht bloſs durch Meer. Da die Schiefe der Ekliptik sich im Laufe von vielen Jahrhunderten um etwas ändert, so ändert sich damit auch die Gröſse der Polarzone, jedoch höchst langsam.

B.

Polarstern.

Nordstern; *Stella polaris;* Étoile polaire; *Polar star.* Der hellste unter den dem Nordpole des Himmels nahe stehenden Sternen, den man meistens, als ob er selbst der unbewegliche Pol des Himmels wäre, ansieht. So unveränderlich bei der täglichen Drehung der Himmelskugel behält er nun freilich nicht seinen Platz, indem er gegen-

wärtig 1° 35′ vom Pole des Himmels entfernt ist und also täglich einen Kreis von diesem Halbmesser durchläuft. Er ist der letzte Stern im Schwanze des kleinen Bären, und man findet ihn, wenn man durch die zwei Sterne im grofsen Bären, die in dem bekannten Vierecke vom Schwanze am entferntesten sind (die beiden Hinterräder des Wagens nach einer andern Bezeichnung), eine Linie vom Rücken des Bären hinaufwärts zieht, indem er der erste gröfsere Stern in dieser Linie ist.

Der Abstand des Polarsterns vom Pole ist veränderlich und nimmt jetzt noch jährlich um ⅓ Min. ab, daher er denn auch jetzt nur 1° 35′ vom Pole entfernt ist, statt dafs sein Abstand zu Tycho's Zeit beinahe volle 3° betrug. Da der Pol des Himmels einen Kreis um den Pol der Ekliptik durchläuft, auf welchem er in 70 Jahren einen Grad zurücklegt, so kann man sich durch die Betrachtung der Himmelscharten oder der künstlichen Himmelskugel leicht überzeugen, dafs vor etwa drittehalb tausend Jahren der Stern β im kleinen Bären, der jetzt 15 Grade vom Pole absteht, dem Pole ziemlich nahe stand und damals allenfalls Polarstern heifsen konnte, wogegen unser jetziger Polarstern damals diesen Namen gar nicht verdiente. Für die nächsten Jahrhunderte bleibt der Himmelspol in der Nähe des jetzigen Polarsterns und rückt ihm noch 300 Jahre lang immer näher.

Der südliche Pol des Himmels hat keinen so bedeutend grofsen Stern in seiner Nähe, daher man den schon 11° vom Südpole entfernten Stern β der kleinen Wasserschlange als Südpolarstern ansieht, obgleich er schon einen sehr bedeutenden Kreis um den Pol beschreibt.

B.

Polarzone s. Polarkreis u. Erde.

Polemoskop.

Polemoscopium; Polemoscope; *Polemoscope.* Ein von Hevel angegebenes Instrument, um Gegenstände zu betrachten, die in einer Richtung liegen, wohin man das Fernrohr nicht gut unmittelbar wenden kann. Der Name ist von ihm deshalb gewählt, weil er glaubte, man könne es im Kriege

(πόλεμος) gebrauchen, um mit dem Fernrohre über eine Mauer oder einen Wall wegzusehn, während das Auge hinter diesem Schutze verdeckt bleibt[1]. Die von ihm vorgeschlagene Einrichtung ist, dafs die Röhre ABH bei A die dem Gegenstande zugekehrte Oeffnung, bei B einen ebenen Spiegel CD, bei E eine Objectivlinse, bei GF einen zweiten ebenen Spiegel, bei H ein Ocular habe. Es ist leicht zu übersehn, dafs die nach der Richtung JL einfallenden parallelen Strahlen auch parallel nach LM zurückgeworfen werden; indem sie nun die Linse E treffen, würden sie, durch diese convergent gemacht, ein Bild in N darstellen; aber da der Spiegel FG sie schon früher auffängt, so convergiren die zurückgeworfenen Strahlen und stellen ein Bild in P dar, welches, wie das Bild im gewöhnlichen Fernrohre, durch das Ocular betrachtet wird[2].

Fig. 122.

Das Instrument ist wohl kaum jemals zu dem Zwecke angewandt worden, worauf sein Name hindeutet; aber als *Operngucker*, wenn man sich den Schein geben will, nach der Bühne zu sehn, während man die seitwärts sitzenden Zuschauer mustert, ist es öfter gebraucht worden. Die unter dem Namen Operngucker bekannte Vorrichtung, wie man sie unter den alten optischen Apparaten häufig findet, besteht meistens aus einem Theaterperspective (*lunette d'opéra; opera glass*), dessen Rohr etwas über die Objectivlinse hinaus verlängert und seitwärts mit einer Oeffnung versehn ist. Dieser gegenüber befindet sich ein um 45° gegen die Axe des Instruments geneigter Spiegel, welcher die seitwärts auffallenden Lichtstrahlen gegen das Objectivglas reflectirt und es daher möglich macht, die seitwärts, auch die ober- und unterhalb des Beschauenden befindlichen Gegenstände zu sehn, während er die auf dem Theater befindlichen zu betrachten scheint.

B.

---

1 Hevelii selenographia. p. 24.

2 Als Belehrung über dieses Instrument gebend führt Gehler an: Hertel vollst. Anweis. z. Glasschleifen und z. Verfertig. opt. Maschinen. Halle 1716. Th. II. Cap. 4. — Leutmann Anmerk. vom Glasschleifen. Wittenb. 1719. §. 101. Smith vollst. Lehrbegriff d. Optik. Buch 3. Cap. 12. Zuweilen bestehn die Polemoskope in den physikalischen Cabinetten des geringern Preises wegen blofs aus der angegebenen, zweimal rechtwinklig gebogenen Röhre mit den beiden Spiegeln und zwei Glasscheiben an beiden Enden, und dienen dann blofs dazu, die Wirkung der Spiegel zu zeigen.

Polhöhe.

Altitudo poli, Elevatio poli; Élevation du Pole; *Elevation of the Pole,* ist die scheinbare Höhe des Himmelspols über dem Horizonte, oder die Anzahl von Graden, die ein vom Himmelspole senkrecht auf den Horizont herabgelassener Bogen enthält. Dieser Bogen PR macht einen Theil des Meridians aus. Er ergänzt die Aequatorshöhe zu 90°, weil zwischen dem Aequator A und dem Pole P 90° enthalten sind und daher offenbar HA + PR auch = 90° ist, PR aber die Polhöhe, HA die Aequatorshöhe vorstellt.

Fig. 123.

Die geographische Breite ist, wenn man die Erde als eine genaue Kugel betrachtet, der Polhöhe gleich; denn auf dem Aequator der Erde sieht man den Pol im Horizonte, 90° vom Aequator sieht man den Pol im Zenith, und wenn die Erde eine genaue Kugel wäre, so würden Höhe des Pols und Abstand vom Aequator sich gleichmäſsig ändern.

Da die Methoden, die geographische Breite oder die Polhöhe zu finden, schon im Art. *Breite, geographische,* vorkommen, so übergehe ich sie hier.

B.

Polyeder.

Rautenglas; *Polyedrum, Polyhedron;* Polyhèdre, Polyscope; *Polyhedron, Polyscope.* Ein polyedrischer Körper ist eigentlich jeder, der durch viele ebene Flächen begrenzt ist; da diese Flächen bei den zu optischem Gebrauche bestimmten Polyedern gewöhnlich Rhomben, Rauten, sind, so haben sie den Namen Rautengläser erhalten.

Ihr, im Ganzen ziemlich unwichtiger, Gebrauch ist ein doppelter. Zuerst eine Vervielfältigung der Bilder, zweitens eine Darstellung eines bestimmten Gegenstands mit Hülfe einer ganz anders aussehenden Vorzeichnung. Wenn ab, bc, de, ef einige Flächen des Glases sind, unter denen ich ab, de als parallel annehmen will, so ist offenbar, daſs das Auge O den Punct A nach der Richtung AO ohne alle Brechung sehn wird, daſs dagegen der Strahl AB, in ef gebrochen, auf bc so

Fig. 124.

in C eintreffen kann, dafs er abermals gebrochen nach CO zum Auge gelangt. Da aber dasselbe sich in mehreren verschiedenen Facetten ebenso wiederholen kann, so kann das Auge O den Punct A mehrmals sehn, und es kommt auf die Lage der Seitenflächen, vorzüglich auf die Anzahl der rund um a herum liegenden Flächen und auf die Lage des Puncts A und des Auges O an, wie oft dieses geschehn kann. Das Auge sieht also den Gegenstand sovielmal vervielfältigt, als das Glas Facetten hat, weil man allezeit den Gegenstand dahin setzt, wohin der vom Auge aus verlängerte Lichtstrahl trifft.

Ein andrer Zweck der polyedrischen Gläser ist, dafs eine vorgelegte, dafür eingerichtete Zeichnung durch das Glas einen Gegenstand zeigt, den man bei gewöhnlicher Betrachtung der Zeichnung nicht in ihr zu finden glaubte. Ist nämlich das Glas so geschliffen, dafs von der Mitte C die Pyramidenseiten wie ABC nach allen Seiten hinaufwärts gehn, so sieht das Auge O den Gegenstand V und die ihn zunächst umgebenden so, als ob sie in der Richtung Ov lägen, und folglich, wenn acht solche Pyramidenseiten an einander grenzen, so erhält man aus acht verschiednen Gegenden V der Tafel vV ein zusammengestücktes Bild, das sich, wenn alles gut angeordnet ist, als ein einziges zusammenhängendes darstellen mufs. Man nennt diese Darstellung ordentlicher Figuren aus verzerrten oder zerstreuten Theilen vermittelst solcher Rautengläser oder auch konisch geschliffener *dioptrische Anamorphosen*[1]. Fig. 125.

Es ist nicht der Mühe werth, bei diesem kaum zur Belustigung, noch weniger zur Belehrung dienenden Gegenstande länger zu verweilen[2].

B.

Polyopter.

Polyoptron. Unter diesem Namen führt Gehler die Gläser auf, die an der hintern Seite eben sind, an der vor-

1 Vergl. Art. *Anamorphose*. Bd. I. S. 291.

2 Gehler verweist auf eine Abhandlung von Leutmann in den Comm. Acad. Petrop. IV. 194. und auf dessen Anmerkungen vom Glasschleifen.

dern Seite aber mehrere sphärisch eingeschliffene Höhlungen haben. Jede dieser hohl geschliffenen Stellen ist ein plan-concaves Glas, durch welches man die Gegenstände verkleinert sieht, und wenn mehrere neben einander sind, so sieht man dieselben Gegenstände in jeder dieser concaven Linsen, also die Gegenstände vervielfältigt.

B.

Porosität.

Porositas; Porosité; *Porosity.*

Porosität ist diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge deren sie nicht absolut dicht sind, sondern zwischen der sie bildenden Masse Zwischenräume (*pori*, vom griechischen Worte *πόρος* das Loch, der Ausgang, von *πείρω* ich durchsteche, durchbohre) haben. Diese letzteren, auch *Poren* genannt, sind gröſser oder kleiner, die Körper sind also mehr oder minder porös, und diese ihre Eigenschaft wird daher unter die *relativen* gezählt, die insofern der Dichtigkeit entgegensteht, als sie mit dem Gegensatze dieser Eigenschaft, nämlich der *Lockerheit*, zusammenfällt, denn man darf im Allgemeinen annehmen, daſs die gröſsten Poren den lockersten Körpern zugehören. Insofern dieses aber nicht in ganzer Strenge richtig ist, da eine eigenthümliche Zusammenfügung der constituirenden Bestandtheile der Körper auch gröſsere und zahlreichere Poren mit gröſserer Dichtigkeit vereinbar machen könnte, so bildet die Porosität nur den Gegensatz gegen absolute Dichtigkeit, indem kein Körper absolut dicht seyn kann, zwischen dessen Bestandtheilen sich Zwischenräume oder Poren befinden [1].

Bei einigen Körpern ist die Zahl und die Gröſse der Poren so auffallend, daſs man sie ohne Schwierigkeit selbst mit bloſsen Augen wahrnehmen kann. Einige Holzarten unter andern, namentlich einige Stengel von Pflanzengewächsen, z. B. das spanische Rohr, zeigen auf ihrem Querschnitte sichtbar eine Menge Canäle, in denen bei ihrer Vegetation der Saft auf- und niedersteigt. Bei einer groſsen Menge anderer Kör-

---

1 Vergl. *Dichtigkeit.* Bd. II. S. 525. u. *Compressibilität.* Bd. II. S. 213.

per, namentlich bei allen aus dem Thier- und Pflanzenreiche unmittelbar entnommenen, die nicht eigentlich flüssig sind, zeigen stark vergröfsernde Mikroskope eine zahllose Menge von Poren, durch welche der zu ihrer Ernährung nothwendige Kreislauf der Säfte bedingt wird. Malpighi[1], Leeuwenhoek[2], Adams[3] und andere haben früher die aufserordentlich grofse Menge der Poren namentlich in Pflanzentheilen und thierischen Häuten nachgewiesen. Die menschliche Haut z. B. zeigt deren mehr als 1000 im Raume von einem Quadratzolle, und, sofern man nach den Messungen annimmt, dafs ihr Flächeninhalt, wenn man sie nach allen ihren Theilen ausgebreitet denkt, 15 Quadratfufs oder 2160 Quadratzoll beträgt, enthielte sie hiernach 2'160000 Poren. In den neuesten Zeiten sind die Mikroskope bedeutend verbessert worden, und man hat daher noch ungleich feinere und zahlreichere Poren in Körpern aus dem Thier- und Pflanzenreiche wahrgenommen, als jene ältern Naturforscher auffinden konnten.

Diese, wenn man so sagen darf, gröbere und auffallendere Porosität der Körper pflegt man in den physikalischen Vorträgen durch einige Experimente anschaulich zu machen, denn ein eigentlicher Beweis oder ein beweisender Versuch kann da nicht verlangt werden, wo die Sache selbst schon durch den Augenschein ohne und mit Anwendung von Vergröfserungen sichtbar wird. Hierher gehört der sogenannte Quecksilber-Regen. Eine Campane von mittlerer Gröfse mit einem etwas verlängerten Halse wird oben mit einer Fassung versehn, in welche ein nach den Längenfiebern geschnittener Cylinder von Holz, am besten von Buchen-, Nufsbaum- oder auch Mahagoni-Holz, eingekittet ist. Die Höhe des Cylinders darf nicht wohl unter 0,5 Zoll betragen, wenn der Versuch einige Beweiskraft haben soll, man kann ihn aber füglich 1 Z., 1,5 Z. oder selbst 2 Zoll hoch nehmen, ohne das Mifslingen des Versuchs zu befürchten; denn die genannten Hölzer sind so porös für das Quecksilber, dafs man sie mit Vorsicht zu Gefäfsen, z. B. bei Barometern, anwenden mufs, in denen dieses Metall nur bis zur Höhe von wenigen Zollen enthalten

1 Anatome plantarum. Lond. 1676. fol. Tab. V. u. VI.

2 Epist. 29. Contin. III. Epist. 74. Cont. V. Epist. 88.

3 Micrographia illustrata. Tab. XLVIII. bis LI.

seyn soll. Wird dann die genannte Campane über einem Glase auf den Teller der Luftpumpe gestellt, oben in die Fassung etwas Quecksilber gegossen und exantlirt, so drückt die Luft Letzteres in einem meistens nicht sichtbaren feinen Regen herab, so dafs es sich in dem untergestellten Glase in kleinen, stets wachsenden Kügelchen sammelt. Auch durch Leder läfst sich das Quecksilber pressen, wenn man ein kleines, dasselbe einschliefsendes Säckchen fest zubindet und mechanischen Druck dagegen anwendet, oder wenn man in die eben beschriebene Fassung einer Campane eine Scheibe dicken weifsen Leders statt des Holzes anbringt. Die Schale der Eier besteht aus einem feinen Häutchen und einer äufsern, meistens aus Kalkerde gebildeten Hülle, welche beide dem unbewaffneten Auge keine Poren zeigen und auch der Luft den freien Durchgang nicht verstatten. Im Innern befindet sich eine kleine, zur anfänglichen Ernährung der Frucht erforderliche Luftblase, auch enthält die Flüssigkeit selbst absorbirte Luft. Legt man daher ein Hühnerei in ein Glas mit Wasser, setzt dieses unter eine Campane und exantlirt, so sieht man die Luft aus dem Innern durch die, hiernach als porös sich zeigende, Hülle in sehr feinen Strömen hervordringen und im Wasser aufsteigen. Durch eben diese Poren mufs auch ohne künstliche Vorrichtungen eine stete Verdunstung stattfinden und diese dann eine allmälige Umwandlung der in den Eiern enthaltenen Substanzen bewirken, wogegen man sie durch Verschliefsung der Poren schützen kann. Letzteres geschieht durch Ueberziehen derselben mit Firnifs, oder noch zweckmäfsiger, wenn man sie in Kalkmilch legt. Zu diesem Ende löscht man den Kalk im vielem Wasser zu einer nach dem Erkalten der fetten Milch an Consistenz ähnlichen Flüssigkeit, rührt dieselbe stark um und legt die Eier so hinein, dafs sie ganz damit überdeckt sind, wodurch man sie den ganzen Winter hindurch und selbst auf längere Zeit gegen das Verderben sichert. Wenn man endlich einige Blätter Papier mit einer Auflösung von Silberglätte (gelbes Bleioxyd, *argyritis*) in Essig oder einer Auflösung von Bleizucker (essigsaures Blei) beschreibt, so ist diese Schrift anfangs nicht sichtbar; legt man sie aber in ein dickes Buch und in dieses zugleich vorn und hinten, auch allenfalls in der Mitte, Blätter von Fliefspapier, die mit einer wässerigen Lösung von Schwefelleber getränkt sind, und umbindet man das

Buch mit einer Schnur, so wird nach etwa 24 Stunden die Schrift sichtbar seyn, weil die freiwerdende, gasförmige Hydrothionsäure durch die vielen zwischenliegenden Lagen des porösen Papiers dringt und die Bleisalze reducirt.

Die Poren der Animalien und Vegetabilien sind von wesentlichem Nutzen, indem sie dazu dienen, eine Menge Substanzen aufzunehmen und auszuscheiden, ohne welche vereinte Processe sie weder wachsen noch gedeihn können. Bei den Animalien, und namentlich auch den Menschen, beruht hierauf die Ausdünstung; auch machen es die Poren möglich, dafs äufserlich eingeriebene Heilmittel eindringen und sich oft durch den ganzen Körper verbreiten; beide Thätigkeiten des thierischen Organismus bilden einen bedeutenden Zweig der Untersuchung für die Physiologie. Auch bei den Blättern der Pflanzen findet eine bedeutende Ausscheidung von Luft und Dampf durch ihre zahllosen Poren statt, durch die sie hinwiederum Feuchtigkeit aus der Atmosphäre aufsaugen, weswegen sie verderben, sobald man sie mit einem ihre Poren verstopfenden Firnifs überzieht.

Diejenigen Körper, welche man gemeiniglich porös nennt und deren Poren dem unbewaffneten Auge oder vermittelst des Mikroskops sichtbar werden, sind im Allgemeinen von der Art, dafs sie die Luft und sonstige gasförmige Körper oder selbst auch tropfbare Flüssigkeiten durch ihre Zwischenräume in gröfserer oder geringerer Menge und in Folge eines gröfseren oder geringeren Druckes entweichen lassen. Hierher gehören also auch diejenigen Körper, bei denen die Durchdringung langsam und unmerklich erfolgt, z. B. Thierblasen, die zwar bei der Anwendung mechanischer Gewalt eher zerreifsen, als die eingeschlossenen Gasarten entweichen lassen, allein in etwas mehr als etwa 24 Stunden findet man sie dennoch meistens mit atmosphärischer Luft gefüllt und die sonstigen Gasarten ans ihnen entwichen. Auf gleiche Weise zeigen sich namentlich die anscheinend undurchdringlichen thierischen Häute porös in allen denjenigen Phänomenen, in denen die Kraft der Adhäsion die durch jene von einander getrennten Stoffe einander zuführt, wie bereits oben[1] erwähnt

[1] *Adhaesion*. Bd. I. S. 200.

worden ist, wohin dann auch die bekannten Versuche Sömmering's[2] über die Entwässerung des Branntweins gehören. Zu diesem Ende nimmt man grofse Rindsblasen, reinigt sie von ihrem Fette, überzieht sie mit einer Auflösung von Hausenbl se und läſst sie trocknen. Werden sie dann etwa zu zwei Drittel mit schlechtem Branntwein angefüllt und in einem trocknen Zimmer oder in trockner Luft aufgehangen, so vermindert sich das Volumen des Branntweins durch Verdunstung des Wassers und er wird bis zu etliche neunzig Procent gehaltreicher an Alkohol. Alle diese Erscheinungen verlieren ihre anscheinende Wunderbarkeit, wenn man berücksichtigt, daſs die thierischen Häute aus zahllosen feinen, über einander liegenden und somit sehr feine Poren einschlieſsenden Lamellen bestehn. Eine mit einer wässerigen Flüssigkeit angefüllte Thierblase z. B. wird zuerst an ihrer innern Wandung und allmälig durch ihre ganze Masse feucht werden. Geht die zu äuſserst befindliche Flüssigkeit als Wasserdampf in die atmosphärische Luft über, so würde eine Lage von einiger, wenn auch geringer, Dicke absolut trocken werden, was wegen der sie berührenden feuchten nicht möglich ist, und so wird also, wenn man diese Argumentation für alle einzelnen Lagen fortsetzt, die eingeschlossene Feuchtigkeit allmälig durch die feinen Poren verdunsten.

Als nicht porös in dem bisher erörterten Sinne, wenigstens als nicht durchdringlich für Gasarten und tropfbare Flüssigkeiten, gelten das Glas und die glasartigen Zusammensezzungen, die compacten und gebrannten Erden und insbesondere die Metalle. Bei den letztern leitet man diese Eigenschaft davon ab, daſs sie anfangs flüssig waren, wie denn auch andere aus dem tropfbar flüssigen Zustande erhärtete Körper, als Harze, Gummi, getrocknetes Eiweiſs, Wachs und die härteren thierischen Fette meistens der Luft und den tropfbaren Flüssigkeiten den Durchgang nicht verstatten. Inwiefern dieses aus dem früheren Flüssigkeitszustande abgeleitet wird, soll sogleich erörtert werden, in Beziehung auf die Metalle aber sind noch die Erscheinungen zu erwähnen, aus denen man früher ihre Porosität folgerte, die aber Lichtenberg aus

---

1 Münchner Denkschriften. 1822. Vergl. Geiger Mag. für Pharmazie. Th. X. S. 43.

einer feinen Zerreifsung ableitete, wie bereits oben[1] mitgetheilt worden ist. Ausgemacht ist wohl, dafs namentlich die Metalle in der bis jetzt betrachteten Bedeutung für nicht porös gelten müssen, wie dieses die starken Compressionen der Luft in den Windbüchsen genügend beweisen.

Bei tropfbar flüssigen Körpern kann man weder mit blofsem Auge noch mit den stärksten Vergröfserungen der besten Mikroskope solche eigentliche Zwischenräume wahrnehmen, als bei festen, auch macht ihr specifisches Gewicht hierbei keinen Unterschied, indem diese anscheinende vollkommene Dichtigkeit sowohl bei flüssigen Metallen, namentlich dem Quecksilber, als auch beim Weingeiste und den spec. leichtesten Aetherarten angetroffen wird. Dafs dieses nicht von der Dichtigkeit, d. h. von der Menge der in einem gegebenen Raume vereinten materiellen Theilchen abzuleiten sey, unterliegt keinem Zweifel, indem Holzarten und Knochen, welche specifisch schwerer als Wasser sind, unter dem Mikroskope zahllose Poren zeigen. Man leitet daher den Mangel der Porosität bei den Flüssigkeiten von einer gleichmäfsigen Vertheilung oder Lage der Bestandtheile ab, woraus denn zugleich nach atomistischer Ansicht folgt, dafs die körperlichen Elemente einander näher kommen können, als in demjenigen Zustande, in welchem sie keine sichtbaren Poren zeigen, und letztere also dennoch, aber unmerklich klein, vorhanden seyn müssen.

Oft dringen sehr feine Materien nicht durch Körper, deren Zwischenräume gröfser sind, als wir die Elemente von jenen annehmen müssen. So sind unter andern die Poren im Korke nach mikroskopischen Messungen bei weitem gröfser als die kleinsten Theile des Wassers, des Weins und anderer Flüssigkeiten, lassen aber diese dennoch nicht durch, wie man bei verkorkten Flaschen wahrnimmt[2], ja ein etwas zusammengedrückter weicher und sehr poröser Kork läfst sogar die Luft- und Gas-Theilchen nicht durch seine Masse dringen. Die

---

1 S. *Compressionsmaschine*. Bd. II. S. 220.

2 Das Eindringen des Wassers in verkorkte Flaschen, die im Meere zu beträchtlicher Tiefe versenkt werden, nach den Versuchen von Leslie (oben Bd. II. S. 214.), Perkins, Herzberg (Magazin for Naturvidensk. 1825. p. 75 ff.) und andern, ist keine Folge der Porosität des Korks, indem die Flüssigkeit vielmehr neben demselben vorbei geprefst wird.

Ursache hiervon liegt in der *Adhäsion*, indem die einzelnen Theilchen der Flüssigkeiten zu stark unter sich zusammenhängen, als dafs sie sich trennen und in die Zwischenräume des Korks eindringen sollten, und die Erscheinung kommt also damit überein, dafs das Quecksilber, welches durch die Poren der härtesten Hölzer gedrückt werden kann, sich in einem lockeren Flore tragen läfst [1].

Die bisher angestellten Untersuchungen über die ungleiche Porosität der Körper sind leicht und die dahin gehörigen Thatsachen lassen sich ohne Schwierigkeit nachweisen; man hat jedoch aufserdem noch andere Erscheinungen als Folgen der Porosität betrachtet, bei denen die Aufgabe ungleich schwieriger und die Richtigkeit der Erklärung zweifelhaft ist. Die Flüssigkeiten namentlich zeigen, auch mit Anwendung der stärksten Vergröfserungen, keine Zwischenräume, dennoch aber nehmen sie eine Menge von Luft in sich auf, ohne dafs ihr Volumen merklich vergröfsert wird, und die durch ihre ganze Masse verbreiteten Gasarten werden wieder frei durch Aufhebung des äufseren Luftdrucks oder durch das Erhitzen derselben, am besten wenn dieses, z. B. beim Wasser, beim Quecksilber u. s. w., bis zum Sieden steigt, in welchem Falle die gebildeten Dämpfe eine möglichst vollständige Austreibung der absorbirten Gasarten bewirken. Da aber die hierher gehörigen Thatsachen bereits ausführlich erörtert worden sind [2], so überhebe ich mich einer weitern Verfolgung dieses Gegenstands und bemerke blofs, dafs man sich diese heterogenen Substanzen nicht füglich anders als in den Zwischenräumen der Flüssigkeiten vorhanden denken kann, wonach die letzteren aber nothwendig porös seyn müssen. Eine ähnliche Folgerung findet statt hinsichtlich der Auflösung verschiedener fester Körper in Flüssigkeiten, z. B. des Zuckers, der Salze u. s. w. im Wasser, der Harze im Weingeist, und anderer dergleichen Erscheinungen. Auch in diesen Fällen kann man nicht wohl umhin anzunehmen, dafs die kleinsten Elemente der aufgelösten Körper in den unmefsbar kleinen Zwischenräumen der Flüssigkeiten vertheilt sind. Mehrere Flüssigkeiten nehmen nach ihrer Vereinigung einen geringern Raum ein, als welcher der

1 Vergl. *Adhaesion*. Bd. I. S. 177.

2 S. *Absorption*. Bd. I. S. 40 ff.

Summe beider gleich ist. Wenn man z. B. zwei Theile Wasser mit einem Theile Weingeist vereinigt, so ist das Volumen um etwa 0,05 kleiner als die Summe beider; etwas Aehnliches findet statt, wenn man Wasser und Säuren, oder aufgelösete Alkalien und Salze mit Säuren vereinigt, aus welchen Versuchen bereits Hooke, Hawksbee[1], Reaumur[2] und andere eine Vertreibung der einen Flüssigkeit in die Poren einer andern folgerten.

Eine grofse Menge von Erscheinungen, die den eben mitgetheilten sehr ähnlich sind, bringt man gleichfalls auf die Annahme vorhandener Poren in solchen Körpern zurück, in denen man diese weder mit unbewaffnetem, noch mit bewaffnetem Auge wahrnehmen kann. Hierher gehört das Eindringen des bei gelinder Hitze schmelzenden Spiefsglanzes in erhitztes Silber nach Homberg's Versuchen[3], das bekannte Eindringen des Quecksilbers in Gold, Silber, Zinn, Blei u. s. w., das Eindringen des Wassers in den *Hydrophan*, des geschmolzenen Wachses in den *Pyrophan*, das Färben des Marmors durch harzige Auflösungen und andere mehr. Es läfst sich wohl nicht verkennen, dafs alle diese Phänomene aus einem Eindringen der genannten Substanzen in die Zwischenräume der Körper zu erklären sind und man diesemnach letztere insgesammt für porös halten müsse. Ungleich weniger leicht kann dieses gefolgert werden, wenn Körper durch Flüssigkeiten, als Salze durch Wasser, Harze durch Weingeist, Metalle durch Säuren aufgelöst werden. Auch hierbei sagt man allerdings, die Flüssigkeiten müfsten in die Poren der festen Körper eindringen, weil sie sonst keine Theile von ihnen losreifsen könnten, und übereinstimmend mit dieser Erklärung ist es allerdings, dafs die stark polirten Metalle, auf deren glänzender Oberfläche also die Zwischenräume erfüllt sind, weniger leicht von Säuren angegriffen werden, denen sie das Eindringen nicht auf gleiche Weise verstatten. Allein man könnte auch annehmen, dafs solche auflösende Mittel blofs die von ihnen berührten Theile der Oberfläche durch überwiegende Anziehung mit sich vereinigten und dadurch von ihrer Masse los-

---

1 Physico-mechanical Exper. App. Exp. 13.

2 Histoire de l'Acad. 1733. p. 25.

3 Hist. de l'Acad. 1713. p. 409.

rissen, wofür der Umstand entscheidet, dafs allerdings in denjenigen Fällen, wobei kein eigentliches Eindringen der auflösenden Substanzen stattfindet, z. B. bei aufzulösenden Metallen, die bereits angegriffenen und rauh gewordenen Oberflächen weggenommen, die Stücke selbst aber wieder polirt werden können.

Alle bisher erwähnte Erscheinungen der Porosität beziehn sich auf unbestreitbar materielle, in verschwindend kleinen Elementen darstellbare Substanzen; allein man hat bisher auch solche in diesen Bereich gezogen, wobei es nicht entschieden und schwerer bestimmbar ist, ob die durchdringenden Potenzen wirklich als materielle Substanzen zu betrachten sind. Man führt nämlich als Beweise der Porosität an, dafs das magnetische Fluidum durch alle nicht selbst magnetische Körper frei und ungehindert dringt, ja in einigen Cabinetten befinden sich noch Apparate, die dazu bestimmt sind, Weingeist in einer kreisförmig gebogenen Rinne brennen zu lassen, um zu zeigen, dafs ein von Aufsen genäherter Magnet eine von der Flamme ganz umgebene Magnetnadel durch die letztere hindurch afficirt, woraus dann die Porosität der Flamme für das magnetische Fluidum gefolgert wird. Auf gleiche Weise ist keine Substanz für die Wärme undurchdringlich, obgleich diese durch einige Körper in kürzerer, durch andere in längerer Zeit hindurchgeleitet wird, so dafs diese hiernach also für sie als mehr und weniger porös erscheinen müfsten. Auch der Durchgang des Lichts durch die Körper wird nach dem Beispiele von Musschenbroek[1] und Robert Boyle[2], welche viele Untersuchungen über diesen Gegenstand angestellt haben, aus der Porosität der Körper abgeleitet, was insbesondere in den älteren Zeiten viele Bemühungen nach sich zog, die Hypothese der Emanation oder der Undulation mit den Erscheinungen der Durchsichtigkeit in Einklang zu bringen[3]. Neuerdings hat man die hierher gehörigen Fragen mit geringerer Aufmerksamkeit beachtet, weil das Wesen des Lichts zuvor auf eine andere Weise aufgefunden werden mufs, woraus dann die Er-

---

1 Introduct. ad Phil. Nat. T. I. p. 91.

2 Experiments and Considerations about the Porosity of bodies. Lond. 1684. 8.

3 S. Art. *Durchsichtigkeit.* Bd. II. S. 698.

scheinungen der Durchsichtigkeit ohne grofse Schwierigkeiten eine Erklärung finden werden. Dafs man übrigens in den neuern Zeiten dieser Aufgabe nur geringere Aufmerksamkeit schenkte, hat insbesondere darin seinen Grund, dafs man nicht geneigt war, mindestens in Deutschland, die sogenannten unwägbaren Potenzen als wirklich materielle Substanzen zu betrachten, weswegen denn die Porosität der Körper nicht aus dem Durchgange der Inponderabilien durch die dickern oder dünnern Massen derselben gefolgert werden kann.

Endlich haben einige die Porosität der Körper aus ihrer Elasticität und aus ihrer Compressibilität gefolgert[1]. Die elastischen Körper, sagen sie, tönen entweder, wenn sie selbst gestofsen werden, oder wenn sie mit andern tönenden in Berührung sind. Um aber zu tönen, müssen sie vibriren, und dieses kann nicht statt finden, wenn nicht ihre Theile einander abwechselnd näher und entfernter gebracht werden, was wiederum ohne Zwischenräume oder Poren, in welche die Molecülen der Körper eindringen, oder die sich bei ihrer Entfernung erweitern, unmöglich ist; woraus dann folgt, dafs alle tönenden Körper auch porös sind. Man sieht jedoch bald ein, dafs zwar die Vibrationen elastischer Körper mit einer Erweiterung und Verengerung ihrer Poren sehr wohl vereinbar sind, keineswegs aber einander nothwendig bedingen, indem sich die Vibrationen füglich auf eine Verschiebung der Elemente der tönenden Körper zurückführen lassen, womit dann dieser Beweis von selbst wegfällt. Ungleich bedeutender ist dagegen das Argument, welches aus der Compressibilität der Körper hergenommen wird; denn sobald man nicht nach einer weitgetriebenen dynamischen Theorie die wirkliche Existenz der Materie im Raume aufhebt, so folgt nothwendig, dafs die Theile zusammengedrückter Körper einander näher rücken müssen, wenn ihr Volumen ohne Verminderung ihrer Masse geringer wird, und da die in einen gegebenen Raum ausgedehnte Materie nicht wohl ohne eine wesentliche Veränderung auch einen kleinern einnehmen kann, man mag als Ursache dieser Raumerfüllung ansehn, was man will[2], so folgt aus den Er-

1 Encycloped. meth. T. IV. p. 366.

2 Nach streng dynamischer Ansicht könnte man sagen, die Materie eines Körpers nehme denjenigen Raum ein, welcher ihr in Folge

scheinungen der Compressibilität nothwendig ein näheres Zusammenkommen der materiellen Theilchen eines Körpers und somit auch das Vorhandenseyn von Poren. Insofern aber die meisten, wo nicht alle Körper durch mechanische Gewalt zusammendrückbar sind, auf jeden Fall aber insgesammt durch Entziehung der Wärme eine Verminderung ihres Volumens erleiden, wie in den Artikeln *Compressibilität*, *Elasticität* und *Ausdehnung* ausführlich gezeigt ist, so muſs man um so mehr alle Körper für porös halten, als die Erfahrung zeigt, daſs die sichtbar mit gröſseren Poren versehenen sich am stärksten in einen kleinern Raum zusammendrücken lassen.

Aehnliche theoretische Untersuchungen über die Porosität der Körper hat man schon in den frühesten Zeiten angestellt und die widerstreitenden Ansichten mit groſser Heftigkeit angefochten; da aber die Hauptsache derselben sich auf die Vorstellungen vom Wesen der Materie bezieht und daher in jenem Artikel bereits ausführlicher abgehandelt worden ist, so beschränke ich mich hier bloſs auf die wesentlichsten Puncte. Nach Cartesius[1] giebt es die aus der Urmaterie entstandenen gröberen und feineren Theilchen, bis zu den feinsten herab, die den

---

des Gleichgewichts der beiden Grundkräfte, nämlich der Ziehkraft und Dehnkraft, zukomme, und ihr Volumen müsse verringert werden, sobald zu der ersteren dieser beiden Kräfte noch ein äuſserer mechanischer Druck hinzukomme. Allein dieses beruhet nur auf einer schwankenden Feststellung der Begriffe, indem einmal die Materie als der Träger der beiden Kräfte, das anderemal aber zugleich als aus diesen beiden Kräften bestehend angenommen wird. Ist die Materie bloſs Träger der beiden Kräfte, wenn auch durch sie nothwendig bedingt, so besteht sie einmal als etwas Gegebenes selbstständig, ungeachtet der unausgesetzten Wirksamkeit jener Kräfte; sie kann vermöge der unausgesetzt fortgehenden Theilbarkeit in stets kleinere Theile getheilt werden, und jedes Theilchen bis zu dem kleinsten wird allezeit seinen aliquoten Raum einnehmen, ohne daſs dieser ein kleinerer werden kann. Man müſste also bis zu den geometrisch unendlich kleinen Theilen und ihren unendlich kleinen Räumen herabgehn, die sich aber nicht summiren lassen und also keinen Uebergang zum Endlichen geben. Wäre aber die Materie selbst nichts anders als Kräfte, so kann keine Kraft selbst, wohl aber ihre Wirkung, durch eine entgegenwirkende vermindert werden, welche beide sich aber auf ein gegebenes Etwas beziehn müssen und also die Anwesenheit eines dritten Gegebenen voraussetzen. Vergl. *Materie*.

1 Vergl. Art. *Materie*.

Aether bilden, welcher die Zwischenräume der gröberen ausfüllend und in steter Bewegung befindlich für alle irdische Phänomene von großer Bedeutung ist. Aeltere und spätere Naturphilosophen fanden jedoch die Annahme eines solchen Aethers unzulässig und hielten es für unvereinbar mit dem Wesen der alle Körper bildenden Atome, daſs der von ihnen eingenommene Raum oder ihr Volumen verkleinert werden könne, insofern die Theilung ihres Raums auch eine Theilung ihrer Masse als möglich gebe, weswegen sie dieselben für vollkommen hart und absolut dicht hielten. War aber der ganze Raum mit solchen Atomen erfüllt, so konnte nach der Einwendung der Gegner keine Bewegung statt finden und es war also nothwendig, absolut leere Zwischenräume anzunehmen, worauf dann der bekannte Streit unter den Philosophen darüber entstand, ob es absolut leere Räume geben könne. Daſs man hieraus kein entscheidendes Argument gegen die atomistische Hypothese entnehmen könne, ist bereits im Artikel *Materie* gezeigt, auch führt die ganze Sache auf einen bloſsen Wortstreit, indem wir über den absoluten Raum weder apriorisch noch durch Erfahrung irgend etwas festzusetzen vermögen, mithin auch selbst die vorläufige Frage unbeantwortet lassen müssen, ob derselbe begrenzt sey oder nicht. Sowohl nach der Erfahrung als auch nach Schlüssen, welche daraus schulgerecht entlehnt sind, müssen wir die unmeſsbar kleinen Theile der Materie, die Atome, für untheilbar ihrem Wesen nach und zugleich für absolut hart halten, weil jede Compression der Körper, wie klein wir uns dieselben auch denken mögen, ebenso wie bei den gröſseren, allezeit auf eine gröſsere Näherung der Theile hinauskommt, die also bei den Atomen nothwendig wegfällt. Hiernach scheint es mir unzulässig, ursprünglich elastische Atome anzunehmen, wodurch G. G. Schmidt[1] die Streitfrage über absolut leere Räume zu umgehn sucht; vielmehr zeigt uns die Erfahrung selbst die Flüssigkeiten, wenn sie sich im fast widerstandleeren Raume bewegen, wie z. B. das Wasser im Wasserhammer und die Luft beim Eindringen in ein Vacuum, dem heftigen Schlage nach zu schlieſsen, wo nicht als absolut, doch mindestens als sehr hart.

---

1 Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. S. 19.

Alle diese und die damit zusammenhängenden Untersuchungen sind allezeit unfruchtbar gewesen und werden es auch fortdauernd bleiben. Sofern die Annahme eines leeren Raums auf die Bestimmung des Begriffs von der Materie einen Einfluſs hat, ist die Frage im Art. *Materie* bereits kurz erörtert worden, und hier wird es daher genügen, nur einige der vorzüglichsten Sätze der älteren Philosophen, die sich zunächst auf die Porosität beziehn, kurz beizubringen.

Die Annahme der Poren in den Körpern, welche bei einigen derselben sichtbar wahrgenommen werden, führt zu der Frage, ob dieselben leer oder gefüllt sind. Wo wir dieselben durch den Sinn des Gesichts erkennen, finden wir sie in der Regel, wo nicht allezeit, mit feineren Flüssigkeiten, entweder mit tropfbaren, oder bei weitem in den meisten Fällen mit Luft erfüllt; indeſs ist kein Grund vorhanden, nicht auch einige derselben für absolut leer zu halten, weil der Begriff eines absolut leeren Raums keinen innern Widerspruch einschlieſst[1]; aus der Erfahrung kann aber die Frage nicht beantwortet werden, weil die Zwischenräume so klein seyn können, daſs ihre Wahrnehmung und Messung auſser den Grenzen der Möglichkeit liegt. Die alten Philosophen unterschieden aber einen absoluten leeren Raum (*vacuum absolutum*), und verstanden hierunter eine für sich bestehende, von aller Materie freie und unbegrenzte Ausdehnung, die vor dem Vorhandenseyn der Körperwelt vorausgegangen seyn sollte, deren Untersuchung also auſser dem Gebiete der Physik liegt. Von dieser absoluten Leere verschieden ist die zerstreute Leere (*vacuum disseminatum*), worunter die einzelnen Zwischenräume oder Poren verstanden werden, die sich zwischen den Atomen oder deren Aggregationen zu Körpern befinden. Die Epikuräer nahmen sowohl jenes absolute, als auch das zerstreute Vacuum an, wovon das erstere nur nach einer ganz willkürlichen Hypothese vor der Schöpfung der Welt existirt haben sollte, letzteres aber als wirklich vorhanden nachgewiesen wurde[2]. Nach den Peripatetikern dagegen war alles mit Materie erfüllt, nirgends ein leerer Raum, vielmehr sollte die Natur einen Abscheu am leeren Raume (*horror vacui*) haben, aus welcher

---

1 Vergl. Musschenbroek Intr. T. I. §. 148 ff.
2 Lucretius de rer. nat. L. I. v. 335 ff.

unbekannten Kraft oder Thätigkeit eine Menge Phänomene abgeleitet wurden. Wesentlich verschieden hiervon sind jedoch genau genommen die weit bestimmter aufgefaſsten Ansichten des CARTESIUS[1], namentlich der Begriff, welchen er mit dem Ausdrucke des absolut erfüllten Raumes (*Plein absolu*) bezeichnet, wonach die Körperwelt allseitig unbegrenzt und nirgends ein leerer Raum anzutreffen ist. Bekanntlich folgerte er diesen Satz aus seiner unrichtigen Vorstellung vom Raume, den er für eine bloſse Negation eines existirenden Etwas ansah, und also folgerte, daſs zwei Körper, zwischen denen sich keine Materie, also Nichts befinde, sich nothwendig berühren müſsten. Die verschiedene Dichtigkeit der Körper ist hiernach also bloſs Folge der verschiedenen Menge von subtiler Materie, die sich in den Zwischenräumen der gröberen Theile befindet, und Bewegung entsteht oder ist bloſs möglich dadurch, daſs ein Theilchen in den Ort des zweiten, dieses in den des dritten rückt, und so fort, bis das letzte den des ersten einnimmt, welche Bewegung dann die ewig wiederkehrenden Wirbel bedingt. GEHLER[2] meint, die Körpertheilchen müſsten hiernach ins Unendliche theilbar und von unendlich verschiedenen Gestalten seyn, daſs sie in allen möglichen Lagen in einander paſsten und nirgends Zwischenräume lieſsen, was aber die Ansichten des CARTESIUS nicht direct trifft; denn nach diesen sind eben die Partikeln der feinen Materie, des Aethers, so klein, daſs ihre Gestalt als unmeſsbar nicht in Betrachtung kommt.

NEWTON[3] erklärte sich gegen die Hypothese eines absolut erfüllten Raums, hauptsächlich in Folge seiner gehaltreichen Untersuchungen über den Widerstand der Mittel, obgleich ihm zugleich auch die Ableitung der Schwere aus den cartesischen Wirbeln anstöſsig war und ihn daher gegen die ganze Hypothese einnahm. Er zeigte, daſs die feine Vertheilung der Materie den Widerstand, welchen sie der Bewegung entgegensetze, nicht bedeutend vermindern könne. Der Widerstand sey der Dichtigkeit der Medien wenigstens nahe genau proportional, weswegen nur

1 Princ. Philos. P. II. §. 10 ff.
2 Wörterb. alte Ausg. Th. II. S. 869.
3 Princip. Phil. nat. L. II. prop. 38. u. 40.

dünne Flüssigkeiten die Bewegung in ihnen nicht bedeutend hindern; es müsse daher eine Kugel, die sich in einem cartesischen vollkommen dichten Medium bewege, schon über die Hälfte ihrer Geschwindigkeit verlieren, ehe sie noch die dreifache Länge ihres Durchmessers zurückgelegt habe. Hiernach könne kein Mensch sich von der Stelle bewegen, geschweige denn dafs die Bewegung der Himmelskörper mit ihrer bekannten Geschwindigkeit denkbar seyn sollte.

Es ist wohl keinen Augenblick zweifelhaft, dafs die Hypothese des Cartesius als ganz unzulässig verworfen werden mufs, indem ohne Rücksicht auf die gänzliche Willkür ihrer Aufstellung im Allgemeinen die einzelnen Kreisbewegungen, wodurch bei jeder Ortsveränderung irgend eines Körpers alle in dem Kreise liegenden gleichzeitig in Bewegung gesetzt werden müfsten, damit das letzte Theilchen in dem nämlichen Augenblicke den verlassenen Raum einnehmen könnte, in welchem das erstere aus ihm weicht, ganz aufser den Grenzen unserer Vorstellung liegen. Hiervon abgesehn wird die Gröfse der Kreise, in welchen diese Bewegung erfolgt, gar nicht angegeben, woraus jedoch die Gröfse der wirksamen Kraft bestimmt werden müfste, durch welche die gesammte darin enthaltene Masse in Bewegung zu setzen wäre. Man sieht bald, dafs Cartesius alle diese Schwierigkeiten durch die unbestimmbare Feinheit seines Aethers zu verdecken gesucht hat.

Wenn wir auch die Frage über die Materialität der unwägbaren Potenzen, deren wenigstens eine oder einige alle Körper durchdringen, unbeantwortet lassen und hieraus kein Argument für die Porosität als allgemeine Eigenschaft aller wägbaren Körper hernehmen, so liegt dennoch in der allgemeinen Ausdehnbarkeit aller Körper ein genügender Beweis für ihre Porosität, ohne zugleich zu entscheiden, ob die Poren leer oder mit leichten, dünnen und gleichfalls zusammendrückbaren Flüssigkeiten angefüllt sind. Die Phänomene, dafs durch Zusammendrückung der Körper Wärme ausgeschieden wird, was am leichtesten und allgemeinsten sich bei der Compression der Gasarten zeigt, führte auf die Hypothese, die elementaren Bestandtheile aller Körper durch eine Wärmeatmosphäre umgeben zu denken, die bereits mehrmals[1] ausführlicher

---

1 Z. B. in den Artt. *Ausdehnung*, *Elasticität*, *Gas* u. a.

erörtert worden ist und daher hier nur beiläufig erwähnt werden mag; sie erklärt sehr einfach und einer Menge von Erscheinungen angemessen, dafs kein Körper absolut dicht ist, selbst wenn wir seine Poren nicht unmittelbar wahrnehmen können. Hiermit in naher Verbindung steht dann zugleich die Hypothese über den Conflict anziehender und abstofsender Kräfte, welche die wirklich darstellbaren, verschwindend kleinen, Elemente der Körper in gröfserem oder geringerem Abstande von einander erhalten und es daher möglich machen, dafs das Volumen der Körper durch mechanischen Druck und Wärmeentziehung vermindert wird. Nach der Art nämlich, wie seit den ältesten Zeiten her die Bedeutung des Wortes Porosität festgesetzt ist, würde aus dieser Hypothese gleichfalls folgen, dafs wir alle Körper porös nennen müssen, obgleich dieselbe sich weigert, Atome anzunehmen; denn die empirisch wahrnehmbaren, verschwindend kleinen, Theilchen der Körper können weder mit den Urkräften identisch, noch von ihnen verlassen seyn.

Sind endlich die Atome der Körper insgesammt gleich schwer und gleich grofs, so ist die Porosität dem specifischen Gewichte umgekehrt proportional, eine Betrachtung, welche in den neuesten Zeiten zu einer Vergleichung der specifischen Gewichte mit den Atomengewichten geführt hat. Dafs ein gewisses Verhältnifs zwischen beiden vorhanden sey, unterliegt keinem Zweifel und ist durch die Bemühungen vieler schätzbarer Gelehrten in ein helles Licht gestellt worden[1]; indefs würde es nicht zweckmäfsig seyn, diese Aufgabe, die bis jetzt noch hauptsächlich in das Gebiet der Chemie gezogen wird, insofern die Bestimmung der Atomengewichte dieser Wissenschaft vorzüglich angehört, hier ausführlich zu erörtern, oder auch nur eine Uebersicht dessen zu geben, was darin bisher geschehn ist, weil wir schwerlich jemals weiter als zu relativen Bestimmungen der Atomengewichte gelangen werden und vielmehr eine absolute erforderlich wäre, wenn aus dieser und dem Volumen der Körper die Gröfse und Anzahl der Poren bestimmt werden sollten.

1 Ich erwähne in dieser Hinsicht nur die beiden Abhandlungen von Avogadro in den Memorie della R. Accademia di Torino. T. XXX. und XXXI. und daraus in Brugnatelli Giornale di Fisica. T. IX.

Aeltere Physiker haben sich bereits bemüht, das Verhältnifs der Menge von eigentlicher Materie und der sie trennenden Zwischenräume oder Poren in den gegebenen Körpern aufzufinden, und daraus einige nicht uninteressante Folgerungen abgeleitet, die schon des geschichtlichen Interesses wegen verdienen hier noch kurz erwähnt zu werden. Da das Gold in sehr dünnen Blättchen das Licht durchläfst und aufserdem der Wärme und dem Magnetismus den Durchgang gestattet, so fand man hierin einen Beweis für seine Porosität und setzte mit einiger Willkür die Menge seiner ponderabeln Masse und die der eingeschlossenen Zwischenräume einander gleich. Das Wasser fand man 19,25 mal leichter, und hiernach müssen dessen Zwischenräume zur eigentlichen Materie das Verhältnifs von 38,5 zu 1 geben; auf gleiche Weise der Kork bei einem spec. Gewichte von 1 zu 81,5 zum Golde das Verhältnifs von 163 zu 1. Hook zählte bei einer dünnen Scheibe Kork in der Länge von einem Zoll 1080 Poren, woraus für einen Kubikzoll 1259 Millionen folgen, die insgesammt durch sehr feine Wandungen umschlossen sind. Würde die hiernach vorhandene sehr geringe Masse zu absoluter Dichtigkeit zusammengeprefst, so könnte sie nur einen äufserst geringen Raum einnehmen, und Priestley[1] meint daher, es liege nichts Widersprechendes in der Behauptung, dafs die gesammte solide Masse des Sonnensystems sich in eine Nufsschale zusammenpressen lasse; wenn er aber hierdurch veranlafst wird zu folgern, dafs es gar keine undurchdringliche Materie gebe, so antwortet hierauf de Luc[2] sehr richtig, dafs man ohne ein vorhandenes *Etwas* sich weder Körper noch Bewegung denken könne, wie gering man auch die zum Weltsysteme erforderliche Masse annehmen wolle, denn der Begriff der Bewegung setze auch etwas Bewegliches voraus und eine Wirksamkeit ohne Substanz sey überall eine Chimäre (versteht sich im Bereiche der physischen Welt).

Das Ansehn von zwei ausgezeichnet berühmten Geometern mufs als genügender Grund erscheinen, ihre Meinungen über die Porosität der Körper hier kurz zu erwähnen, wenn gleich

1 Disquisitions relating to matter and spirit. Lond. 1778. 8. p. 17.

2 Briefe über die Geschichte d. Erde u. d. Menschen. A. d. Fr. Leipz. 1781. Bd. V. S. 93.

die Principien, von denen sie hierbei ausgehn, gegenwärtig etwas wankend geworden sind. NEWTON hatte beobachtet, dafs zwischen einer auf eine plane Glasplatte gelegten und gedrückten Linse im Puncte der genauesten Berührung ein schwarzer Fleck zum Vorschein kommt und dafs eine Seifenblase da, wo das Häutchen derselben am dünnsten ist, eine ähnliche schwarze Stelle zeigt. Hieraus folgert er [1], dafs die Ursache der Reflexion nicht in dem Stofse der Lichttheilchen gegen die festen Theile der Körper zu suchen sey, und hält es für sehr wahrscheinlich, dafs die auf feste Theile (*partes solidas*) der Körper stofsenden Lichtstrahlen nicht reflectirt, sondern in den Körpern selbst verdunkelt werden und verschwinden. Stiefsen also die Lichtstrahlen beim Durchgange durch transparente Körper, z. B. Glas, Krystalle, Wasser u. s. w. auf feste Theile derselben, so müfsten diese ein trübes, dunkles Ansehn haben und schwarz erscheinen, wenn die meisten oder alle Strahlen auf diese Weise vertilgt würden. Hieraus folgt dann aber, dafs die Zwischenräume zwischen den soliden Theilen der durchsichtigen Körper ungleich gröfser sind, als man zu glauben sich geneigt fühlt. Das Gold z. B. ist 19 mal dichter als Wasser und dennoch dringt das magnetische Fluidum hindurch, Quecksilber drängt sich in seine Poren und selbst Wasser läfst sich durch dasselbe pressen, wie NEWTON auf die Aussage eines Augenzeugen annimmt [2], woraus folgt, dafs die Zwischenräume im Golde, die dieser Theorie nach leer seyn müssen, gröfser sind, als die durch die festen Theile eingenommenen Räume, wonach dann die ersteren beim Wasser vierzigmal gröfser sind, als die letzteren. Es ist zwar allerdings schwer, fährt NEWTON fort zu argumentiren, sich so grofse Zwischenräume vorzustellen, aber keineswegs unmöglich. Nach seiner Theorie von den Anwandlungen [3] werden nämlich die Farben der Körper durch die Dicke der Lagen bedingt, woraus sie bestehn. Wenn wir uns dann vorstellen, dafs die Zwischenräume zwischen diesen Lagen so grofs sind, als die Lagen selbst, und dafs die Lagen wieder aus andern mit gleichfalls gleich grofsen Zwischenräu-

---

1 Optice L. II. p. III. prop. VIII. p. 205. ed. Clarke.

2 Dieses Phänomen ist oben bereits anders erklärt.

3 S. *Anwandlungen* Bd. I. S. 301.

men bestehn, und diese wieder aus solchen, so würden für diese dreifache Stufenfolge die leeren Räume in einem solchen Körper die solide Masse um das Siebenfache übertreffen, bei einer vierfachen Stufenfolge um das Funfzehnfache, bei einer fünffachen um das Einunddreifsigfache, bei einer sechsfachen um das Dreiundsechzigfache und so fort. Auf diesen Hypothesen ist die Ansicht Newton's gegründet, dafs die Masse der soliden Materie ungleich geringer sey, als das Volumen der leeren Räume, und dafs sie im Verhältnisse zum Raume im Allgemeinen nur äufserst unbedeutend sey[1].

La Place, früher mehr geneigt, den eben erwähnten Hypothesen des von ihm so hoch gepriesenen brittischen Geometers beizupflichten[2], beschränkt sich später darauf, dafs wir über alle diese Aufgaben nur nach Wahrscheinlichkeitsgründen urtheilen können. Dafs derselbe ein Anhänger der atomistischen oder sogenannten Corpusculartheorie geblieben sey, unterliegt keinem Zweifel[3], und diesem gemäfs erklärt er sich bestimmt für die Ansicht, dafs die Dichtigkeit der Körper von der Menge der in einem gegebenen Volumen enthaltenen materiellen Puncte abhänge. Hiernach würde eine Substanz ohne Poren den höchsten Grad der Dichtigkeit haben und die Vergleichung anderer Körper mit dieser gäbe dann die Menge der in jener enthaltenen Materie. Da uns aber eine solche absolut dichte Substanz nicht gegeben ist, so können wir nur irgend eine als normale annehmen, wozu sich das reine Wasser im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit am besten eignet, und die Vergleichung des absoluten Gewichts und des Volumens anderer Körper mit diesem giebt dann die specifischen Gewichte. Alles zusammengenommen führt zu dem wahrscheinlich richtigen Schlusse, dafs allen Körpern eine ihrem Wesen nach gleichartige Materie (namentlich gleich schwere Elemente) zum Grunde liege und dieselben sich blofs durch die Gestalt und Gröfse ihrer Poren und materiellen Grundstoffe (*molécules intégrantes*) unterscheiden. Hiernach müfsten alle Körper

1 Dafs alle diese Folgerungen unhaltbar sind, unterliegt keinem Zweifel, indefs ist es merkwürdig, dafs Fraunhofer's Untersuchungen über die Interferenzen zu ähnlichen, aber gegründetern Folgerungen führen. G. LXXIV. 366.

2 Système du monde. Ire éd. An IV. de la Rép. Chap. XV.

3 Eb. Vme éd. Par. 1824. T. I. p. 294.

porös seyn, weil wir keine absolut dichte Substanz kennen, und diese auch so lange unmöglich bleibt, als es uns nicht gestattet ist, den absoluten Nullpunct der Wärme und somit die Verminderung des Volumens der Körper durch Entziehung derselben zu erreichen. Inzwischen gesteht LA PLACE die Möglichkeit zu, dafs die Molecülen der Körper wesentliche Verschiedenheiten zeigen, auch findet er es unsern beschränkten Begriffen von dem Wesen der Materie nicht widerstreitend, die Himmelsräume mit einem Fluidum ohne Poren erfüllt zu denken, welches dennoch den Bewegungen der Himmelskörper einen nur unmerklichen Widerstand entgegensetzt, wodurch er die unveränderte Bewegung jener mit den Ansichten derer zu vereinigen wähnt, die einen absolut leeren Raum für unmöglich halten. Ob übrigens diese Hypothese zulässig sey, hierüber zu entscheiden würde eben zu der so schwierigen und wahrscheinlich unmöglichen Bestimmung des eigentlichen Wesens der Materie führen, die der grofse Geometer als unfruchtbar und zwecklos zu umgehn sucht, indem er sagt, dafs die Mechanik bei den Körpern blofs ihre Masse, ihr Volumen und die Gesetze ihrer Bewegung in Betrachtung ziehe. M.

Positionswinkel.

Angulus positionis; Angle de position; *Angle of position.* Wenn man von einem Sterne aus einen gröfsten Kreis durch den Pol des Aequators und einen gröfsten Kreis durch den Pol der Ekliptik zieht, so heifst der Winkel, den diese beiden Kreise mit einander bilden, die *Position* oder der *Positionswinkel* des Sterns. Dieser Winkel ist $=0$, wenn der Stern in dem gröfsten Kreise ist, der durch die Pole des Aequators und der Ekliptik geht; auch für alle andern Fälle wird er leicht gefunden.

B.

Potenz.

Mechanische Potenz, einfaches Rüstzeug, einfache Maschine; *Potentia mechanica,*

machina simplex; Puissance mécanique, machine simple; *Simple machine, mechanical power.*

In der Mathematik sagt man, irgend eine Gröſse, zunächst eine Zahl, sey zu irgend einer Potenz oder Potestät erhoben, welche durch eine andere Gröſse, den Exponenten, bezeichnet wird. In dieser Bedeutung gehört das Wort *Potenz* zunächst und ausschlieſslich in das Gebiet der Mathematik und kommt daher hier nicht weiter in Betrachtung.

Der Physiker bezeichnet nicht selten durch den Ausdruck Potenz etwas, was sich in der Natur als wirksam zeigt, indem es als wirksames Agens gewisse Erscheinungen erzeugt, ohne daſs es jedoch für sich selbstständig als materieller Stoff darstellbar ist. Diese allgemeine und vorläufig unbestimmte Bezeichnung wird dann hauptsächlich deswegen gewählt, weil zuvor die Erscheinungen genauer untersucht werden sollen, ehe man darüber zu entscheiden wagt, ob die ihnen zum Grunde liegende wirkende Ursache eine materielle Substanz sey oder nur eine eigenthümliche Beschaffenheit, eine Thätigkeitsäuſserung derjenigen Körper, bei denen wir jene wahrnehmen.

Am gebräuchlichsten ist diejenige Bedeutung des Worts Potenz, die in der Ueberschrift durch die gleichbedeutenden Bezeichnungen ausgedrückt wird. Schon Pappus[1] erwähnt fünf einfache mechanische Potenzen (δυνάμεις) oder Maschinen, die bei der gesammten praktischen Maschinenlehre zum Grunde liegen, indem man alle, auch die künstlichsten und am meisten zusammengesetzten Maschinen auf diese zurückbringen kann, nämlich der *Hebel*, die *Radwelle*, die *Scheibe*, die *Schraube* und der *Keil*. Wegen ihrer Wichtigkeit werden diese sämmtlich in eigenen Artikeln näher untersucht, woraus sich aber ergiebt, daſs sie nicht einfach sind, sondern sich aus zwei allerdings einfachen, dem Hebel und der geneigten Ebene, ableiten lassen, die deswegen auch in den neuern Zeiten als Fundamentalmaschinen gelten. Schon früher sah man ein, daſs die beiden letzten, die Schraube und der Keil, zur schiefen Ebene gehören, und einige Schriftsteller führten daher die letztere als eine sechste einfache Potenz ein. Varignon[2] setzte die *Seilmaschine* als sechste einfache Ma-

1 Collect. math. L. VIII.

2 Nouvelle mécanique ou statique. Par. 1725. 4.

schine zu den älteren hinzu. Diese besteht blofs aus Seilen, an denen Kräfte nach verschiedenen Richtungen wirken, und ist zunächst bestimmt, die durch SIMON STEVIN[1] aufgestellten Sätze über zusammenwirkende Kräfte zu erläutern. Die blofs zur Demonstration dienende sogenannte *Funicular-Maschine* kann also für keine einfache mechanische Fundamentalpotenz gelten, so oft auch die Theoreme über conspirirende Kräfte bei Seilen, durch welche Maschinentheile, z. B. Rammklötze, bewegt werden, in Anwendung kommen, worüber man eine treffliche theoretische Untersuchung bereits in NEWTON's Werken findet[2].

In der Physik pflegt man die mechanischen Grundsätze an kleinen Modellen der Fundamentalmaschinen zu erläutern, wie diese sich in den Werken von s'GRAVESANDE, DESAGULIERS, MUSSCHENBROEK, NOLLET u. a. abgebildet finden, wobei die geneigte Ebene mit hinzugerechnet wird, und wenn diese insgesammt in einem einzigen Modelle vereinigt sind, so nennt man dieses eine *Potenzenmaschine*.

M.

Presse.

Prelum; Presse; *Press*.

Jede Vorrichtung, die dazu bestimmt ist, Körper zusammenzudrücken, oder genauer jede Maschine, die so eingerichtet ist, dafs man Gegenstände damit stark und schnell zusammendrückt, heifst Presse. Allerdings lassen sich die verschiedenen Substanzen einfach dadurch pressen, dafs man sie mit Lasten beschwert, auch giebt es verschiedene Werkzeuge, die bei ihrem Gebrauche eine bedeutende Pressung ausüben, z. B. Hämmer, Scheren, Zangen, Walzen u. s. w., allein sie gehören dennoch nicht zu den eigentlichen Pressen, weil die Zusammendrückung ihr unmittelbarer Zweck nicht ist.

Von den Pressen wird in der Oekonomie und Technik ein sehr mannigfaltiger Gebrauch gemacht, wovon sie dann ihre speciellen Benennungen erhalten. So giebt es Wein- und Oelpressen, Papierpressen, Zeugpressen, Siegelpressen, Buch-

---

1 Beghinselen der Weghkonst. Amst. 1596. 4.

2 Arithmetica univers. Lugd. Bat. 1732. 4. Probl. geom. 48 u. 49.

binder- und Buchdruckerpressen und viele andere, deren Construction ihrer Bestimmung angemessen eingerichtet wird. Eine ins Einzelne gehende Beschreibung hiervon zu geben würde hier nicht am rechten Orte seyn, und es genügt, nur im Allgemeinen zu bemerken, dafs der Zweck aller Pressen im Ganzen darin besteht, entweder das Volumen der Körper zu vermindern, womit zugleich die Erzeugung einer glatten und figurirten Oberfläche als absichtlich erstrebt oder zufällig entstehend verbunden ist, oder die in den geprefsten Massen enthaltenen Flüssigkeiten herauszudrücken, weil man entweder diese letzteren benutzen oder die geprefsten Körper davon befreien will.

A. Mechanische Pressen.

Die Pressen können zur leichtern Uebersicht in solche abgetheilt werden, die zur Mechanik fester Körper gehören, und in solche, bei denen die hydrostatischen und hydraulischen Gesetze zum Grunde liegen, bei allen aber ist die Construction von der Art, dafs durch einen gröfsern Aufwand von Zeit oder eine gröfsere Räume durchlaufende Bewegung eine verhältnifsmäfsig gröfsere Kraftäufserung erzeugt wird. Bei den zur Mechanik fester Körper gehörenden Pressen werden daher die mechanischen Potenzen in Anwendung gebracht, und da es deren nur zwei fundamentale giebt, so lassen sich auch die sämmtlichen Pressen auf diese beiden zurückbringen, wie verschieden deren Construction und Bestimmung immer seyn mag. Die beiden mechanischen Potenzen sind der *Hebel* und die *geneigte Ebene*, von denen die erstere nur selten und bei keinen gewöhnlich üblichen Pressen in Anwendung kommt, weil man zur Hervorbringung eines starken Drucks eines langen Hebelarms bedarf, durch welchen jeder Apparat dieser Art unbequem wird, weswegen man sich blofs auf dem Lande in Ermangelung besserer Vorrichtungen, z. B. zu den Obstpressen, eines langen Balkens als ungleicharmigen Hebels bedient.

Ungleich häufiger sind diejenigen Pressen, bei denen die geneigte Ebene in Anwendung kommt. Sie zerfallen dann wieder in zwei Classen, nämlich die *Keilpressen* und die *Schraubenpressen*. Bei den ersteren wird der pressende Klotz oder der ihn drückende Balken vermittelst eines Keils bewegt, letz-

terer aber durch die Schläge eines Hammers oder die Stöfse eines Balkens getrieben. Diese Keilpressen sind die einfachsten und wohlfeilsten, und da der Keil eine so aufserordentlich grofse Gewalt ausübt, so läfst sich auch ihre Wirksamkeit bis zu einer bedeutenden Höhe treiben; sie haben aber den Nachtheil, dafs es eine geraume Zeit erfordert, bis der Keil herausgenommen, eingesteckt und eingetrieben ist, und dafs die Schläge oder Stöfse, die ihn bewegen, zugleich sehr stark erschütternd auf die gesammte Maschine wirken. Die Construction dieser Pressen nimmt keine physikalischen Gesetze besonders in Anspruch, und da das mechanische Mittel, welches bei ihnen zum Grunde liegt, bereits[1] erläutert worden ist, die bewegende Kraft des *Stofses* aber noch besonders untersucht werden mufs, so bedarf der Gegenstand hier keiner weitern Ausführung.

Es läfst sich mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dafs die Keilpressen hauptsächlich nur zum Auspressen des Oels und des Obstsafts angewandt werden; ungleich häufiger dagegen ist der Gebrauch der Schraubenpressen, denn von dieser Art sind die *Siegelpressen*, die *Buchbinder-* und *Buchdrucker-Pressen*, die *Kelterpressen*, die *Papierpressen* und zahllose andere. Ihre Construction ist im Allgemeinen von der Art, dafs eine Schraubenspindel, deren Stärke der erforderlichen Gewalt angemessen ist, in einer gleichfalls hinlänglich starken Schraubenmutter um ihre Axe gedreht wird und dadurch den zu pressenden Gegenstand niederdrückt. Die Umdrehung der männlichen Schraube geschieht nur bei sogenannten Klemmschrauben, Brems-Schrauben, Zwingen u. dgl. vermittelst eines ränderirten Knopfs, eines flachen Schwanzes oder zweier flügelförmiger Lappen, in der Regel aber bedient man sich des Hebels, welcher aus einer, durch den dickeren Theil der Schraubenspindel gesteckten, an den Enden mit beiden Händen anzufassenden Stange, oder aus einem blofs mit seinem einen Ende durchgesteckten längern oder kürzern Balken besteht, den man am anderen Ende entweder mit der Hand, oder vermittelst eines Seiles bewegt, welches zur Vermehrung der Kraft um einen gleichfalls durch Hebelarme gedrehten Baum gewunden wird. Solcher Vorrichtungen lassen sich aus den allgemeinen Grundsätzen der Mechanik eine Menge ent-

1 S. Art. *Keil*. Bd. V. S. 850.

nehmen, die keiner besonderen Beschreibung bedürfen; dahin gehört auch die durch HOPKINSON[1] vorgeschlagene und mit dem besondern Namen *Atholpresse* bezeichnete Construction. Bei dieser ist die verticale Hauptschraube unten mit einem gezahnten Rade versehn, welches durch eine Schraube ohne Ende herumgedreht wird. Dafs man hierdurch ohne einen langen Hebel und einen besondern Baum (den sogenannten *Tummelbaum*) zum Aufwinden des Seils zu bedürfen, also auf einen viel kleinern Raum beschränkt, eine aufserordentliche Kraftvermehrung erhalten könne, folgt von selbst, allein es ist zugleich auch nothwendig, dafs der Zeitaufwand in gleichem Grade vermehrt werde. Um daher die Umdrehungen der Schraube ohne Ende zu beschleunigen, versieht HOPKINSON diese mit drei auf ihre Axe verticalen und zugleich schweren Hebelarmen in der (aufserwesentlichen) Gestalt von Mannsschenkeln, die haspelartig herumgeschleudert werden.

Vermittelst der Schraubenpressen kann man allerdings eine aufserordentliche Gewalt erzeugen und sie geben ohne Widerrede einen sehr grofsen Nutzeffect; insbesondere ist derjenige ganz ungewöhnlich, welchen HOPKINSON durch seine Atholpresse erhalten zu haben vorgiebt, zugleich aber ist der Widerstand der Reibung bei ihnen ausnehmend grofs und bei denen, deren Schrauben nicht von selbst wieder zurückgehn, auf jeden Fall gröfser als ihre Kraftäufserung. Unter allen Schrauben aber hat die ohne Ende die stärkste Reibung und dieses Hindernifs ist daher bei der Atholpresse um so gröfser. Inzwischen läfst sich auch diese durch Anwendung langer Hebelarme überwinden. Ein Haupthindernifs aber, weswegen sich die Gewalt der Schraubenpressen nicht über eine gewisse Grenze erhöhn läfst, liegt in dem Umstande, dafs die Schraubengänge eine bedeutende Dicke haben müssen, wenn sie dem Zerbrechen nicht ausgesetzt seyn sollen, wodurch aber das Verhältnifs dieser Dicke zum Umfange der Schraubenspindel, und somit also die Wirksamkeit der Schrauben, vermindert wird, wenn man jenen Umfang, und dadurch zugleich das Gewicht, namentlich der eisernen Schraubenspindeln, nicht übermäfsig vergröfsern will. Hierzu kommt endlich

---

1 Mech. Mag. Nr. 417. Daraus in DINGLER's polytechn. Journ. Bd. XLII. S. 11.

der Umstand, dafs auch die Schraubenmuttern entweder unverhältnifsmäfsig dick seyn müssen, oder keine hinlängliche Sicherheit dagegen gewähren, dafs sie dem aufserordentlichen Drucke gegen ihre innern Wandungen nachgeben und zerrissen werden, wonach also die Schraubenpressen ungeachtet der ungeheuern Gewalt, deren Ausübung sie gestatten, dennoch in dieser Beziehung den hydraulischen Pressen nachstehn.

Das eigentliche wirksame Agens bei dieser bisher beschriebenen Art von Pressen ist die *Schraube*, und da deren Construction und die bei ihr in Anwendung kommenden mechanischen Gesetze in einem eignen Artikel abgehandelt werden, ebenso wie das bei ihrer Anwendung vorzüglich zu berücksichtigende Hindernifs der *Reibung*, so kann ich hier auf diese Artikel füglich verweisen.

B. Hydromechanische Pressen.

Die ungleich neuern *hydromechanischen* Pressen haben in den letztern Zeiten die Aufmerksamkeit der Physiker bei weitem mehr in Anspruch genommen, als die schon den alten Mathematikern bekannten mechanischen. Es giebt deren zwei, bei denen eigentlich ein und dasselbe hydrostatische Gesetz zum Grunde liegt, die man aber dennoch meistens durch die Benennung der *hydrostatischen* und der *hydraulischen* bezeichnet oder auch nach ihren Erfindern, Real und Bramah, benennt.

1. Die *hydrostatische* Presse, auch Extractions- oder Auflösungs-Presse genannt, vom Grafen Real zunächst zur Bereitung eines concentrirten Caffee-Extracts erfunden, wurde in Deutschland im Jahre 1816 durch Döbereiner[1] aus einer von van Mons erhaltenen brieflichen Nachricht bekannt und erregte grofses Aufsehn. Das bei derselben zum Grunde liegende Princip ist sehr einfach und kein anderes als das bekannte hydrostatische Gesetz, dafs der Druck einer Flüssigkeitssäule dem Producte ihrer Basis in ihre lothrechte Höhe proportional ist. Ist daher in der langen Röhre AB irgend eine Flüssigkeit vorhanden, so wird ein unterer Theil derselben, z. B. ab, durch die oberhalb derselben befindliche Säule

Fig. 126.

1 Schweigger's Journ. Bd. XVI. S. 339.

mit einem ihrer lothrechten Höhe proportionalen Gewichte herabgedrückt. Es lag sehr nahe bei der Sache, hiermit sogleich die Anwendung des sogenannten Pascal'schen *hydrostatischen Paradoxons* [1] zu verbinden, wonach eine verhältnifsmäfsig geringe Menge Flüssigkeit in einer engen Röhre gegen eine gegebene Fläche mit gleicher Kraft wirkt, als eine ungleich gröfsere, in einem Cylinder oder einem umgekehrten abgekürzten Kegel befindliche. Diesen wichtigen hydrostatischen Satz, dafs der verticale Druck einer Flüssigkeit gegen eine horizontale Fläche dem Gewichte eines Cylinders dieser Flüssigkeit von der Basis dieser Fläche und der Höhe bis zum Spiegel dieser Flüssigkeit ohne Rücksicht auf den Kubikinhalt der hierbei wirksamen Masse gleich ist [2], welcher beim *anatomischen Heber*, dem *Tubus* von Volder und dem *Follis* von s'Gravesande in Anwendung kommt [3], beabsichtigte Pascal [4] durch einen in den physikalischen Cabinetten zur Demonstration unentbehrlichen Apparat theils zu erläutern, theils zu beweisen, dessen Construction unter den vielfachen Arten mir auf folgende Weise am zweckmäfsigsten einzurichten scheint. Auf dem im verticalen Durchschnitte gezeichneten Fufsbrete AB befindet sich die lothrechte Stange CD, welche in c das Hypomochlion des gleicharmigen Waagebalkens ab darbietet. An dem einen Arme desselben befindet sich die Waagschale p und über derselben die massive Messingkugel π, welche beide zusammengenommen der Scheibe $\alpha\beta$ das Gleichgewicht halten. Diese ist auf der fein auslaufenden Spitze λ so balancirt, dafs sie sich leicht um ihre verticale Axe drehn läfst und dafs eine nicht allzustarke Neigung gegen den Horizont auf den durch sie ausgeübten Druck nach oben keinen bedeutenden Einflufs äufsert. Vermittelst der in die Waagschale p gelegten Gewichte drückt dieselbe gegen die verschieden geformten Wasserbehälter, deren Gewicht nebst dem des enthaltenen Wassers durch die auf der Stange CD verschiebbaren Arme L getragen wird, so dafs die Scheibe blofs dem lothrechten Drucke des darin befindlichen Wassers entgegenwirkt.

Fig. 127.

---

1 Rob. Boyle Paradoxa hydrostatica. In Opp. var. Genev. 1680. 4.
2 Vergl. Art. *Hydrostatik*. Bd. V. S. 578.
3 Vergl. Art. *Heber*. Bd. V. S. 173.
4 De l'Équilibre des liqueurs. Par. 1663. 12.

Werden dann nach einander die drei gleich hohen gläsernen Behälter vermittelst der beweglichen Arme so herabgedrückt, dafs ihre unteren, eben geschliffenen Ränder mit der oberen Fläche der Scheibe in Berührung kommen, und mit Wasser gefüllt, so zeigen die in die Waagschale p zur Ueberwindung ihres verticalen Drucks einzulegenden verschiednen Gewichte, dafs der Druck des Wassercylinders m m n n dem des abgekürzten Kegels m m m′m′ und dafs der des letztern, wenn er umgekehrt und in m′m′ m m verwandelt wird, dem des Wassercylinders n′n′ m′m′ gleich ist, dafs demnach ungleich grofse und schwere Wassermassen einen gleichen Druck ausüben können. Der Versuch läfst sich auch mit Quecksilber anstellen, wobei der Apparat sehr klein seyn kann und dennoch das grofse Gewicht der Flüssigkeit einen bedeutenden Unterschied zu erkennen giebt.

Bringt man das so eben erörterte hydrostatische Gesetz bei der Real'schen Presse in Anwendung, so wird das ganze Problem nicht blofs erleichtert, sondern im eigentlichen Sinne erst zum nützlichen Gebrauche geeignet. Hiernach verwandelt sich nämlich der Apparat in einen willkürlich grofsen Cylinder A mit dem langen Rohre a b, an dessen oberem Ende sich ein Trichter m zum Eingiefsen der Flüssigkeit befindet, und es wird dann die im untern Cylinder befindliche Substanz, die etwa den Raum $\alpha\alpha$, $\beta\beta$ einnimmt, durch die geringe Menge der in der Röhre a b enthaltenen Flüssigkeit einen gleichen Druck erleiden, als welcher durch einen Cylinder derselben von der Grundfläche $\beta\beta$ und der Höhe des im engen Rohre enthaltenen ausgeübt werden würde. Hiermit ist also das erste und eigentliche Princip der hydrostatischen Presse gegeben, nämlich der nach Umständen beliebig zu vermehrende hydrostatische Druck. Man glaubte anfangs, dafs diese Vermehrung für die praktische Anwendung der Extractionspresse von wesentlichem Einflusse sey, weswegen unter andern auch Döbereiner die Hauptsache der Wirkung auf diesen zurückführen wollte und diesemnach also Quecksilber als drückende Flüssigkeit in Vorschlag brachte; allein letzteres würde ohne anderweitige künstliche Vorrichtungen unter die Extractionsflüssigkeit herabsinken und dadurch die beabsichtigte Wirkung aufheben. Man hat sich späterhin überzeugt, dafs es eines so aufserordentlichen Drucks gar nicht bedarf

Fig. 128.

und derselbe blofs hinreichend seyn mufs, um die im untern Cylinder befindliche, mit den zu extrahirenden Stoffen gesättigte Flüssigkeit herabzudrücken.

Das zweite Princip, welches bei der Extractionspresse in Betrachtung kommt, ist gleich anfangs von Döbereiner richtig aufgefafst worden. Man bereitete nämlich bis dahin die Extracte auf die früher gewöhnliche Weise durch Aufgiefsen der extrahirenden Flüssigkeiten auf die mehr oder minder verkleinerten Stoffe, deren auflösliche Substanzen von den Flüssigkeiten aufgenommen und mit diesen verbunden nachher abgegossen wurden. Es ist aber augenfällig, dafs bei diesem Verfahren eine nicht unbedeutende Menge der zu extrahirenden Substanzen in jenen locker zusammengehäuften Stoffen zurückbleiben mufs, selbst wenn man mechanischen Druck anwendet, weil eben durch diesen die äufseren, mehr zusammengeballten Lagen eine minder leicht durchdringliche Hülle bilden. Döbereiner[1] zeigt dagegen, dafs die zu extrahirenden Substanzen sich inniger mit den auflösenden Flüssigkeiten verbinden, wenn diese nach und nach in steigender Menge zugesetzt werden, woraus namentlich mit Wasser mehr und minder dickflüssige Hydrate entstehn. Es müssen daher die Extracte zuvor in den gehörig zerkleinerten Substanzen durch allmäliges Zulassen der auflösenden Flüssigkeiten gebildet und dann ohne ein gleichzeitig stattfindendes Zusammenballen jener durch den mechanischen Druck der nachfliefsenden Flüssigkeit getrennt werden. Döbereiner sagt dann weiter: „Erwägt man aber, dafs die mit auflöslichen Substanzen geschwängerte Flüssigkeit specifisch schwerer ist, als dieselbe „in ihrem reinen Zustande, und dafs sie vermöge dieser gröfseren Schwere aufhört, der Capillarität der festen Substanzen zu unterliegen, wenn dieselbe anderweitig befriedigt „wird, z. B. dadurch, dafs man auf ihr Resultat oder Product „eine Flüssigkeit von minderer Dichte drückend wirken läfst[2],

1 G. LX. 14.

2 Dickflüssige Extracte zeigen in der Regel eine stärkere Capillaranziehung, als die extrahirenden Flüssigkeiten, allein dieses kommt hier bei stattfindendem mechanischen Drucke wenig in Betrachtung und aufserdem fehlen uns hierüber hinlänglich genaue Versuche.

„so sieht man ein, dafs eine vollkommene Trennung der flüs-
„sigen Verbindung von fester unauflöslicher Substanz und so-
„mit eine erschöpfende Extraction nur dann möglich ist, wenn
„mit mechanischem Drucke die Vernichtung der Capillaritäts-
„äufserung der letzten gegen die erste auf die angezeigte Art
„bedingt wird."

Von diesen richtigen Grundsätzen ging auch GEIGER[1] aus, welcher durch seine Anleitung zum praktischen Gebrauche dieses Apparats bei der officinellen Bereitung von Extracten am meisten zur Verbreitung desselben beigetragen hat. Die einzelnen Anweisungen desselben, auf welche Weise solche Extracte aus verschiednen Substanzen am zweckmäfsigsten bereitet werden, kann ich, als zunächst in das Gebiet der Pharmacie gehörig, hier übergehn. Aus der Ansicht der Sache, wie sie beiden genannten Gelehrten eigenthümlich ist, ergiebt sich dann auch die verschiedentlich zu modificirende Construction solcher Pressen, unter denen ich für diese einfachen Arten folgende als Muster aller übrigen mittheile, die nach Zweck und Umständen vielfach abgeändert werden kann. Man nimmt einen Cylinder A von Zinn, Glas oder Porcellan, welcher am untern Ende mit einem hervorstehenden Rande oder Wulste versehn ist, um das etwas vertiefte Gefäfs CC bequem daran zu befestigen oder abzunehmen, aus dessen Röhre b die ausgeprefsten Extracte auf einen kleinern Raum vereinigt ablaufen können, ohne umherzuspritzen und in einem zu grofsen untergestellten Gefäfse der freien Luft eine ausgedehnte Oberfläche darzubieten. Ist der Cylinder von Zinn, so kann dieses Bodenstück auch aufgeschraubt werden und gewährt auf jeden Fall den Vortheil, dafs, ohne eigentlich fest zu schliefsen, dennoch die Ablaufröhre b in die Oeffnung einer untergesetzten Flasche herabgehn kann, um die darin aufgefangnen Flüssigkeiten, namentlich die aromatischen, gegen Verdunstung und überhaupt gegen den freien Zutritt der Luft genügend zu schützen. Auch an der innern Seite hat der Cylinder A drei Hervorragungen, auf denen die mit feinen Löchern durchbohrte Bodenplatte $\gamma\gamma$ ruhn kann, die jedoch mit drei Einschnitten versehn seyn mufs, um gehörig gedreht her-

Fig. 129.

1 Beschreibung der Real'schen Auflösungspresse und Anleitung zum einfachen Gebrauche derselben u. s. w. Heidelb. 1817. 8.

ausgenommen und wieder eingelegt zu werden, zu welchem Ende sie mit dem zum Anfassen dienenden Knopfe v versehn ist. Ihr gegenüber befindet sich die ähnliche Platte δδ mit ihrem Knopfe w, welche entweder so viel kleiner oder gleichfalls mit Einschnitten versehn seyn muſs, um neben den untern Hervorragungen vorbeizugehn, wenn man den ganzen Apparat nach dem Gebrauche zum Reinigen auseinander nehmen will. Daſs auch diese obere Platte mit vielen feinen Löchern versehn seyn müsse, folgt von selbst. Oben ist der Cylinder mit einem dicht schlieſsenden Deckel versehn, in dessen Mitte sich die Tülle a befindet, um die mit einem Korke versehene Röhre hinlänglich fest einzustecken. Letztere wird dicht über ihrem eingesteckten Ende sehr zweckmäſsig mit einem Hahne c versehn, um den Zutritt der extrahirenden Flüssigkeit beliebig abzustellen oder frei zu lassen. Die nur höchstens einen halben Zoll im Durchmesser haltende Röhre dd hat oben eine kleine trichterartige Erweiterung, vermittelst deren sie im Ringe e hängt, doch so, daſs man sie bequem etwas in die Höhe heben und wieder herablassen kann. Durch den Trichter kann die extrahirende Flüssigkeit nachgegossen werden; will man aber Extracte in gröſserer Menge bereiten, so ist es zweckmäſsig, den gläsernen Heber h anzubringen, von dessen Schenkeln der eine in die Röhre d, der andere in ein nebenstehendes groſses Gefäſs B herabgeht, aus welchem die Flüssigkeit nachflieſst, sobald das Niveau derselben in der Röhre unter das im Gefäſse herabgeht. Der ganze Apparat endlich ruht auf einem Schemel gg, in dessen Mitte sich eine hierzu geeignete Oeffnung befindet und zwischen dessen Füſse das zur Aufnahme des Extracts bestimmte Gefäſs gestellt werden kann.

Will man den Apparat, den ich als auf die angegebene Weise zusammengesetzt betrachte, gebrauchen, so zieht man den Kork a aus dem Deckel oder das Ende des Rohrs aus dem Korke, hebt das Rohr in die Höhe, um den Cylinder vom Schemel wegzunehmen, und läſst es dann wieder im Ringe herabhängen, wobei es immerhin noch mit der Flüssigkeit, in der Regel mit Wasser, gefüllt seyn kann, wenn der Hahn c verschlossen ist. Der Cylinder A wird dann umgekehrt, sein unterer Theil CC abgenommen und die Bodenplatte herausgehoben. Demnächst füllt man den Raum zwischen

beiden durchlöcherten Platten mit der hinlänglich verkleinerten Substanz, aus welcher der Extract bereitet werden soll, wobei es vortheilhaft ist, diese mäſsig, aber etwas fest zu drücken, auf jeden Fall aber dafür zu sorgen, daſs die zum Extrahiren bestimmte Flüssigkeit nicht am Rande des Cylinders herablaufe, sondern sich überall gleichmäſsig in der zu extrahirenden Substanz verbreite, zu welchem Ende der obere Deckel δδ nach der Mitte hin etwas vertieft seyn kann. Wird der Cylinder von der zu extrahirenden Substanz nicht ganz voll, so kann man den obern Deckel nach dem Umkehren des Apparats von oben herab durch die Oeffnung bei a vermittelst eines Stabs niederdrücken, wenn er stark genug ist, um dieses auszuhalten. Ist der Apparat dann wieder hergestellt, so beruht die Hauptsache darauf, nach dem Oeffnen des Hahns c zuerst nur etwas von der Flüssigkeit in den Cylinder flieſsen zu lassen und die erforderliche Zeit abzuwarten, bis diese sich überall durch die Substanz verbreitet hat, dann in gehörigen Zwischenräumen mehr Flüssigkeit zuzulassen, damit diese sich mit dem Extractstoffe hinlänglich sättige, und erst, nachdem dieses geschehn ist, das eigentliche Auspressen durch das nachdringende Wasser zu bewerkstelligen. Der Effect beruht dann im Wesentlichn darauf, daſs die zuerst zugelassene und allmälig vermehrte Flüssigkeit mit den zu extrahirenden Substanzen vollständig gesättigt werde, indem sie soviel davon auflöst, als sich damit verbinden will, und daſs demnächst der möglichst concentrirte Extract, ohne in den zusammengeballten unauflöslichen Theilen ein Hinderniſs zu finden, durch die herabdrückende Flüssigkeit ausgeschieden und zum Ablaufe vermocht werde. Hat man diesen ersten, oft bis zur Syrupsdicke concentrirten Extract erhalten, so kann man abermals das nachgedrungene Wasser oder die sonstige benutzte Flüssigkeit mit der bereits extrahirten Masse eine Zeitlang in Verbindung lassen, und erhält dann einen minder concentrirten Extract, bis die Substanz gänzlich extrahirt ist und die Flüssigkeit rein abflieſst.

Solche oder auf ähnliche Weise einfach construirte Apparate wurden sogleich nach Bekanntwerdung des Problems sehr allgemein in den Officinen eingeführt, in den chemischen Laboratorien gebraucht und auf sonstige vielfache Weise in Anwendung gebracht. Aus der mitgetheilten Darstellung der

eigentlichen Art der Wirksamkeit dieser Maschinen ergiebt sich überzeugend, daſs die Höhe der drückenden Wassersäule zwischen zwei veränderlichen Extremen liegen muſs; sie darf nämlich nicht zu klein seyn, weil sonst das Herabgedrücktwerden des Extracts nicht bloſs zu langsam, sondern überall nicht regelmäſsig erfolgen und derselbe vielmehr an einer oder an einigen Stellen herabträufeln würde, wo der geringste Widerstand statt fände. Auf der andern Seite darf sie aber nicht zu groſs seyn, nicht sowohl wegen der erforderlichen gröſsern Stärke der einzelnen Theile des Apparats, als vielmehr wegen der Unbequemlichkeit, welche mit der zunehmenden Höhe der Röhre gleichmäſsig oder sogar in einem gröſsern Verhältnisse wächst, insbesondere aber, weil bei einem zu starken hydrostatischen Drucke leicht ein nur partielles, an den Stellen des geringsten Widerstandes statt findendes schnelles Herabflieſsen eintreten könnte, ohne daſs die gleichmäſsig bewegte Auflösung im ganzen Cylinder den gesammten Extract vollständig lieferte. Der letztere Nachtheil findet zwar nur selten statt, da die Höhe der Röhre nicht leicht übermäſsig groſs seyn kann und die Geschwindigkeit des Herabflieſsens der enthaltenen Flüssigkeit durch den verhältniſsmäſsig so viel weitern Cylinder bedeutend vermindert wird, allein die Erfahrung hat dennoch hinlänglich bewiesen, daſs eine mittlere Höhe der Röhre von etwa 8 par. Fuſs, wie sie auch ohngefähr von Geiger angegeben wurde, vollständig genügt.

Inzwischen legte man bald einen zu hohen Werth auf die Stärke des hydrostatischen Drucks, indem man theoretisch voraussetzen zu dürfen glaubte, was auch die Erfahrung bestätigt haben sollte, daſs die Extracte durch denselben im Allgemeinen concentrirter und aus einigen Substanzen überhaupt nur dadurch erhalten würden. Auſserdem hat die Anbringung eines auch nur 8 Fuſs langen Rohrs, das Einfüllen des Wassers in den Trichter desselben und das Befestigen eines Gefäſses mit der erforderlichen Flüssigkeit in dieser Höhe allerdings manche Schwierigkeiten, und man war daher darauf bedacht, diese Apparate bequemer und zugleich für einen stärkern hydrostatischen Druck einzurichten, womit dann zugleich die Absicht verbunden wurde, die Flüssigkeit heiſs mit der zu extrahirenden Substanz in Verbindung zu bringen, was bei Anwendung eines langen Rohrs schwierig oder ganz un-

möglich ist. Die Lösung beider Probleme veranlaſste eine Menge Constructionen, die jedoch insgesammt auf folgende Principien zurückkommen.

1. *Anwendung des Luftdrucks.* Der Druck der atmosphärischen Luft gleicht bekanntlich dem einer Wassersäule von fast 32 par. Fuſs Höhe; wird daher die Luft unter dem Cylinder der Extractionspresse theilweise oder ganz weggenommen, so findet gegen die Oberfläche der in ihm enthaltenen Substanzen ein Druck statt, welcher von der kleinsten Höhe einer Wassersäule bis zu 32 par. F. gesteigert werden kann. Zu diesem Ende wird der Cylinder oder das Gefäſs A, welches gleichfalls die beiden durchlöcherten Platten $\gamma\gamma$ und $\delta\delta$ hat, vermittelst des Hahns c unten verschlossen, ehe man den Inhalt desselben mit der zerkleinerten Substanz anfüllt und von den extrahirenden Flüssigkeit die erforderliche Menge auf die obere Platte $\delta\delta$ gieſst, damit sie sich allmälig im ganzen Raume des Gefäſses verbreiten und mit den zu extrahirenden Stoffen sättigen könne. Ist Letzteres geschehn, sey es mit kalter oder heiſser Flüssigkeit, wobei man leicht die obere Oeffnung zur Verhütung des Entweichens der aromatischen Stoffe mit einem zwar genau, aber nicht luftdicht schlieſsenden Deckel verschlieſsen kann, so wird das untere Gefäſs B nach Verschlieſsung des Hahns d vermittelst der Luftpumpe G, deren Construction dem beabsichtigten Zwecke angemessen eingerichtet werden kann, bis zu dem erforderlichen Grade luftleer gemacht, so daſs nach dem Oeffnen des Hahns c die im Gefäſse A befindlichen Extracte durch die über $\delta\delta$ ruhende Luftsäule in das Gefäſs B herabgepreſst werden. Hierbei ergeben die vorwaltenden Bedingungen, ob bloſs die anfänglich aufgegossene, mit den zu extrahirenden Stoffen gesättigte Flüssigkeit herablaufen soll, oder ob man es besser findet, schon während dieser Zeit noch einen neuen Theil der Flüssigkeit nachzugieſsen; auch kann das Exantliren während des Herabflieſsens oder vorher geschehn, wenn nur dafür gesorgt ist, daſs der Extract nicht in die Luftpumpe gerathen kann. Am geeignetsten dürfte es in der Regel seyn, zuerst den stärksten Extract durchzupressen, diesen nach dem Oeffnen des Hahns d in ein untergesetztes Gefäſs abflieſsen zu lassen, alsdann beide Hahne wieder zu verschlieſsen, abermals Flüssigkeit aufzugieſsen und auf die nämliche Weise einen zweiten

Fig. 130.

schwächern Extract zu bereiten, welches Verfahren mehrmals und selbst mit abwechselnder Anwendung verschiedener und ungleich warmer Flüssigkeiten wiederholt werden kann.

Unter den verschiedenen Constructionen der Extractionspressen scheint mir die eben beschriebene, die man auch *Luftpresse* genannt hat, den vorzüglichsten Platz einzunehmen. Sie gewährt den Vortheil, dafs man die Flüssigkeit kalt und warm, selbst bis nahe zur Siedehitze erwärmt, anwenden kann, deren Menge noch aufserdem nach Umständen bestimmbar ist; auch behält der herabgedrückte Extract stets eine waagerechte Oberfläche, statt dafs die ihn herabdrückende Flüssigkeit sich sonst leicht einen Weg seitwärts bahnt und den Extract zu sehr verdünnt. Aufserdem nimmt die Maschine wenig Raum ein, ist bequem zu behandeln, läfst sich auf einem Tische leicht hinstellen oder festschrauben und bedarf keines hochstehenden Gefäfses für die extrahirende Flüssigkeit. Gegen alles dieses mufs der allerdings bedeutend höhere Preis abgewogen werden.

2. Auf gleiche Weise, als der einfache Luftdruck gegen den luftleeren Raum wirkt, äufsert sich der doppelte gegen den einfachen atmosphärischen, und anstatt daher unter dem Cylinder der Extractionsmaschine einen luftleeren Raum zu erzeugen, darf man nur durch Compression die Luft über demselben zur doppelten Dichtigkeit bringen, die man noch obendrein willkürlich vermehren könnte, wenn die Güte des Extracts von der Stärke dieses Drucks abhängig wäre. Die Construction solcher Maschinen läfst sich auf mannigfaltige Weise abändern, das allgemeine Princip derselben wird aus folgender Einrichtung erkannt. Der zur Aufnahme der zu extrahirenden Stoffe bestimmte Cylinder A, welcher überall luftdicht verschlossen seyn mufs, hat unten einen Hahn d, durch dessen Verschliefsen das zu frühzeitige Abfliefsen des noch nicht hinlänglich gesättigten Extracts verhindert wird. Ueber demselben befindet sich die verticale Compressionspumpe B, deren Stellung nicht nothwendig die verticale seyn mufs, auch kann sie ebenso gut vermittelst eines Hebels oder einer gezahnten Stange bewegt werden, als vermittelst einer blofsen Handhabe, wie die Zeichnung angiebt; auf gleiche Weise ist der Hahn c nicht unumgänglich nothwendig, indem statt dessen ein Blasenventil gleichfalls genügt. Es braucht kaum er-

Fig. 131.

wähnt zu werden, dafs man beim Gebrauche den obern Deckel abschraubt, die zu extrahirenden Substanzen einbringt und mit der erforderlichen Menge der anzuwendenden Flüssigkeit hinlänglich benetzt, letztere gehörig gesättigt werden läfst und dann nach aufgeschraubtem Deckel und begonnener Compression der Luft den Extract aus der untern Röhre nach geöffnetem Hahne d abfliefsen macht.

Wäre es erwiesen oder erweisbar, dafs die Menge und die Güte der Extracte oder die Leichtigkeit und Schnelligkeit ihrer Bereitung durch die Stärke des angewandten Drucks bedingt würden, so könnten die zuletzt beschriebnen Maschinen den erstern, den sogenannten Luftpressen, nahe kommen und sie bei hoher Bedeutsamkeit der angegebnen Bedingungen sogar noch übertreffen; allein es ist nach Gründen der Theorie und Erfahrung durchaus unnöthig, nur einmal einen Druck anzuwenden, welcher dem der atmosphärischen Luft gleich kommt, vielweniger aber bedarf es eines stärkern, und hiernach sind allerdings diejenigen Maschinen verwerflich, die mehrfache Unbequemlichkeiten durch den eingebildeten Vorzug aufwiegen sollen, dafs man Luft von der Dichtigkeit mehrerer Atmosphären bei ihnen in Anwendung bringen kann. Die hierbei statt findenden Mängel der Construction sind übrigens sehr augenfällig. Zuerst ist es nämlich nicht blofs unbequem, sondern sogar bedeutend schwierig, den obern Deckel des Cylinders, welcher doch nicht sehr klein seyn darf, beweglich und zugleich luftdicht schliefsend zu machen, und diesem Uebelstande würde auch nicht begegnet, wenn man dieses bei dem untern bewerkstelligen wollte. Zweitens aber liegt ein grofser Mangel darin, dafs man nach verschlossenem Cylinder keine neue Flüssigkeit zugiefsen kann, bevor nicht der Apparat wieder zerlegt ist, wodurch eine Hauptbedingung dieser Pressen unerfüllt bleibt.

3. Ein bekannter Grundsatz der Hydrostatik ist, dafs der Druck einer Wassersäule durch jeden andern gleich starken mechanischen Druck ersetzt werden kann. Läfst man daher gegen den untern Theil eines Wassercylinders einen Embolus mit gleicher Kraft drücken, als das Gewicht der anzuwendenden Wassersäule beträgt, so wird der Effect der nämliche seyn. Auch diesen Grundsatz hat man bei der Construction der Extractionspresse in Anwendung gebracht und diese daher auf

folgende Weise der Hauptsache nach eingerichtet. Der unten gewölbte, mit einem durch den Hahn d verschlieſsbaren Ausfluſsrohre versehne Cylinder A hat oben einen ausgebognen Rand, auf welchen eine massive und hinlänglich starke Deckelplatte mit zwischenliegendem gefetteten Hanfe vermittelst einiger Klemmschrauben luft- und wasserdicht befestigt wird. Mitten im Deckel befindet sich eine kleine Compressionspumpe g, deren Kolben zwar, wie oben angegeben wurde, mit einer Handhabe oder mit einer gezahnten Stange auf und ab bewegt werden könnte, hier aber vermittelst des Hebelarms hp beweglich dargestellt ist. Das Bogenstück $v\omega$ dient dazu, die verticale Bewegung der Stange zu erhalten, auch wird das Gefäſs A am besten in einer Oeffnung des auf drei Füſsen ruhenden Brets ef befestigt, auf welchem die verticale Stange gh aufgerichtet ist, deren oberes Ende zum Unterstützungspuncte des Hebelarms hp dient. Im untern Theile der kleinen Pumpe g befindet sich ein Kegelventil α, welches durch eine Spiralfeder angedrückt wird, oder ein Blasenventil, wozu sich Pergament am besten zu eignen scheint, und ein zweites Ventil der einen oder der andern Art ist in dem Seitenstücke β angebracht, welches ein kleines Röhrchen zum Aufstecken des krummen Rohrs n hat, dessen Bestimmung ist, von der zu extrahirenden Flüssigkeit die erforderliche Quantität aufzusaugen und in die Presse zu führen. Wird nämlich der Embolus gehoben, so öffnet sich das im Stücke β befindliche Ventil, es schlieſst sich dagegen das im untern Ende der Pumpe befindliche α und die Pumpe wird mit der Flüssigkeit gefüllt, die beim Niederdrücken des Embolus nach der Oeffnung des untersten Ventils α und der Schlieſsung des in β befindlichen in das Gefäſs A gepreſst wird.

Fig. 132.

Diese Pressen haben den Vorzug der Bequemlichkeit und nehmen einen geringen Raum ein, sie sichern gegen die Verdunstung des Aroma's durch gehinderten Zutritt der äuſsern Luft und gewähren ein günstiges Mittel, stets neue Flüssigkeit zuzuführen, die sowohl kalt als auch warm seyn kann, jedoch werden Kegelventile erfordert, wenn man bis zur Siedehitze steigen will. Wäre der stärkere Druck von bedeutendem Einflusse, so leisteten sie in dieser Hinsicht am meisten, denn die Flüssigkeit kann vermittelst derselben bis zu vielen Atmosphären comprimirt werden; es ist jedoch bereits gezeigt

worden, dafs hiervon keine besondern Leistungen zu erwarten sind, wie mir eigene Erfahrungen zeigten, die ich mit einer solchen Maschine angestellt habe, bei welcher der Druck bis zu dem von 15 Atmosphären gesteigert werden konnte. Dagegen stehn sie den unter Nr. 1. beschriebenen Luftpressen darin nach, dafs man nicht füglich den zuerst gebildeten concentrirten Extract für sich erhalten kann, jedoch wäre auch dieses möglich, wenn man die Compressionspumpe und die Ventile so einrichtete, dafs sie nicht blofs zur Compression der tropfbaren Flüssigkeiten, sondern auch der Luft dienen könnten, was allerdings schwierig, aber für einen geübten Künstler keineswegs unausführbar ist. In diesem Falle müfste die zu extrahirende Substanz zuerst gehörig durchnäfst, demnächst noch mehr Flüssigkeit eingepumpt und dann der gebildete Extract durch die comprimirte Luft ausgeprefst werden, worauf der nämliche Procefs zur Gewinnung eines schwächern Extracts wiederholt werden könnte.

Da die Grundsätze, worauf die Construction dieser Maschinen beruht, so einfach sind und man von ihnen einen so vielfältigen Gebrauch macht, so war es natürlich, dafs eine Menge Vorschläge ihrer verschiedenen Bauart gemacht wurden, die ich jedoch einzeln zu beschreiben für überflüssig erachte, weil ein jeder aus den mitgetheilten Elementen alles für individuelle Zwecke Erforderliche entnehmen kann. Es verdienen aufser der durch Geiger beschriebnen hydrostatischen Presse besonders genannt zu werden die durch Theodor Lüders[1] ausgeführte Luftpresse, desgleichen die vielfachen verschiednen Einrichtungen, welche Romershausen[2] diesem Apparate gegeben hat, die er zugleich nicht blofs beschrieb, sondern auch ausführen liefs und als Gegenstände eines Handelsartikels unter den verschiednen Bezeichnungen von *Luftpressen*, *Dampfpressen* und *hydromechanischen Extractpressen* benutzte. Unter die interessantesten Vorrichtungen dieser Art gehört diejenige, welche Döbereiner unter dem Namen der *mikrochemischen Extractionspresse* bekannt gemacht hat. Sie besteht

1 G. LXIII. 416.

2 Romershausen's Luftpresse, eine in den Kön. Preuss. Staaten patentirte Maschine. 1. Hft. Zerbst 1818. 8. Vergl. Schweigg. Journ. XXXIV. 106. Dingler's polytechnisches Journal X. 415. G. LXXVII. 291.

aus der kleinen, nur etwa gegen zwei Kubikzolle haltenden Phiole A und der etwa 3 Lin. weiten, 4 Z. langen Glasröhre B, welche letztere mit dem zu extrahirenden Pulver so weit, als nöthig ist, angefüllt wird, worauf man dieses von der auflösenden Flüssigkeit durchdrungen werden läfst. Hat die letztere die auflöslichen Substanzen zur Genüge in sich aufgenommen, so giefst man einige Tropfen Wasser oder Weingeist in die Phiole A, verwandelt diese über einer Weingeistlampe oder über Kohlen in Dampf und steckt dann die Röhre B vermittelst des in beide Oeffnungen passenden Korkstöpsels c darauf. Der Korkstöpsel hat eine mitten durch ihn geschobne kleine Glasröhre, welche oben mit einem Läppchen von Musselin bedeckt ist. Wird dann durch Abkühlung der Dämpfe in A ein Vacuum erzeugt, so kann die Luft nur durch die Röhre B und das kleine Röhrchen im Korke c eindringen, wobei sie aber den Extract vor sich her in die Phiole drückt. Man kann nach dieser ersten Operation abermals Flüssigkeit nachgiefsen und wie bei der Luftpresse die Extractbereitung wiederholen[1].

Fig. 133.

Nachdem die verschiedensten Arten von Extractionspressen bereits sehr allgemein in Anwendung gebracht waren, trat G. F. Parrot[2] als Gegner derselben auf und gründete seine Argumente auf eine sehr schätzbare Reihe vergleichbarer Versuche. Zuerst liefs er nach der unter Nr. 2. beschriebnen Art eine Extractionspresse mit Compression, die bis zum achtfachen atmosphärischen Drucke gesteigert werden konnte, verfertigen, bediente sich dieser und zugleich einer nach Romershausen's Angabe gemachten, bereitete mit beiden Extracte, wobei die Compression bis zum vierfachen atmosphärischen Drucke, die Verdünnung aber bis zur Hälfte der atmosphärischen Dichtigkeit getrieben wurde, bereitete aufserdem aus gleichen Substanzen andre Extracte durch blofse Infusion und verglich beide Arten nach ihrem specifischen Gewichte. Hieraus erhielt er folgende Resultate: a) die Verstärkung des Drucks trägt zur stärkern Sättigung der extrahirenden Flüssigkeiten gar nichts bei; b) bei mittlerer Temperatur erhält man durch das Abwarten von einigen Stunden die Ex-

1 Vergl. Allg. Nord. Ann. Th. I. S. 482.
2 G. LXXV. 423.

tracte ebenso stark und oft noch stärker, als durch die Extractionspressen. Es folgt sonach, dafs die Extractionspressen, sowohl die durch Compression als auch die durch Dilatation der Luft wirkenden, ganz unnütze und in einigen Fällen sogar schädliche Werkzeuge sind, indem sie den Pharmaceuten veranlassen, die durch sie erhaltnen Extracte für stärker als die gewöhnlich bereiteten zu halten. PARROT setzt hinzu, dafs dieses Resultat auch aus theoretischen Gründen folge und aus diesen auch schon im Voraus abzuleiten gewesen wäre, weil die Bildung der Extracte auf der Kraft der Adhäsion beruhe, welche die Verbindung der aufzulösenden Substanzen mit der Flüssigkeit bedinge und sich im Allgemeinen ungleich stärker in ihren Wirkungen zeige, als jede mechanische Gewalt. Dieses ist vollkommen richtig, und darin eben liegt die Ursache, warum die Stärke der Compression von keinem oder auf jeden Fall einem ihrer Gröfse keineswegs proportionalen, im Ganzen höchst geringfügigen Einflusse ist.

Gegen diese Einwürfe erklärte sich vorzüglich nur ROMERSHAUSEN [1], und zwar aus folgenden Gründen. Es soll nach ihm zweierlei Arten von Extracten geben, nämlich solche, zu deren Bestandtheilen hauptsächlich aromatische Substanzen gehören, die er *flüchtige* nennt, und solche, in denen sich jene nicht finden, die daher *todte* heifsen. Bei ihrer Bereitung mufs man allgemein die zu extrahirenden Substanzen zuerst gehörig zerkleinern, und dann ist es von gröfster Wichtigkeit, genau die erforderliche Menge der extrahirenden Flüssigkeit zuzusetzen, welche gerade hinreicht, sie durchaus feucht zu machen, so dafs sie sich zusammenballen lassen. Bei dieser Befeuchtung findet Wärmeentbindung statt, die ROMERSHAUSEN aus einer chemisch-elektrischen Gegenwirkung ableitet, die aber nach den neuern Erfahrungen von POUILLET eine blofse Folge der Adhäsion ist und auf die Güte der Extracte sicher keinen Einflufs äufsert. Bei der Bereitung der flüchtigen Extracte ist es dann von grofser Wichtigkeit, dafs diese schnell dargestellt und dem Einflusse der Luft entzogen werden. Bedarf man zugleich der Wärme, so empfiehlt sich hierfür am meisten die Dampfpresse. Die todten Extracte erfordern weit weniger Sorgfalt, allein da man sie

1 G. LXXVII. 291. Kastner Archiv. II. S. 369.

mitunter erst digeriren, dann auspressen und endlich filtriren muſs und manche nicht längere Zeit mit der Luft in Berührung bleiben dürfen, so leistet die Presse, hauptsächlich die hydromechanische, alles Erforderliche in der kürzesten Zeit und erfordert in vielen Fällen noch obendrein weniger Flüssigkeit zur vollständigen Extraction.

Bei einer Prüfung der hier mitgetheilten, einander entgegenstehenden Gründe lieſse sich allerdings sagen, daſs auch bei einer bloſsen Durchfiltrirung der auflösenden Flüssigkeiten durch die befeuchteten Substanzen das Aroma mittelst eines hinlänglich schlieſsenden Deckels zurückgehalten, der Zutritt der Luft abgehalten und die ganze Operation füglich mit heiſser Flüssigkeit, wie bei der gewöhnlichen Caffeebereitung, bewerkstelligt werden könne. Dieses Argument ist allerdings von groſser Wichtigkeit, und es scheint hiernach die definitive Entscheidung der Streitfrage von der Nachweisung eines Unterschieds in der Güte der auf beide Arten erhaltenen Extracte abzuhängen. In dieser Beziehung verwirft Romershausen das von Parrot angewandte Prüfungsmittel, nämlich das Araeometer, gänzlich, und es ist mir nicht bekannt, daſs später ein anderes, vollkommen sicheres, in Vorschlag gebracht worden sey; inzwischen haben geübte und zugleich unbefangene Pharmaceuten sowohl als auch Chemiker die Anwendung der Extractionspresse in vielen Fällen beibehalten, was allerdings für den Nutzen derselben entscheidet. Hauptsächlich beruht dieser wohl auf dem bereits erwähnten Umstande, daſs die mit den zu extrahirenden Stoffen gesättigte Flüssigkeit (oder der erste concentrirteste Extract) durch die über ihr comprimirte Flüssigkeit besser und schneller herabgedrückt wird, als dieses auf irgend eine andere Weise möglich ist, denn ich habe selbst nicht selten die Beobachtung gemacht, daſs die obern Schichten aus hellem Wasser bestanden, wenn unten ein sehr concentrirter Extract ablief. Im Ganzen lassen sich die sämmtlichen in Rede stehenden Zwecke am besten durch die von Romershausen sogenannte hydromechanische Extractpresse erreichen, deren Construction dem Wesen nach unter Nr. 3. beschrieben ist.

2. Die *hydraulische* Presse, auch Bramah's Presse genannt, ist dem Principe nach von der hydrostatischen nicht verschieden, wohl aber in Rücksicht ihrer Bestimmung, wo-

nach sie ganz eigentlich den Namen der hydromechanischen verdient, indem sie zur Erzeugung der stärksten mechanischen Gewalt angewandt wird. Obgleich das ihr zum Grunde liegende Princip höchst einfach und seit den ältesten Zeiten her allgemein bekannt ist [1], so scheint es doch nicht, dafs man früher eine praktische Anwendung davon gemacht habe, ja selbst in England wurde Bramah's patentirte Presse weit weniger bekannt und bei weitem nicht so häufig gebraucht [2], als sie es verdient und dieses gegenwärtig der Fall ist. In Frankreich scheint man sie erst später kennen gelernt zu haben [3] als in Deutschland, wo sie aus einigen Reisebeschreibungen bekannt und auch praktisch in Anwendung gebracht wurde [4].

Die Bramah'sche Presse beruht auf dem hydrostatischen Gesetze, welches man gewöhnlich durch den *anatomischen Heber* und den *follis hydrostaticus* von s'Gravesande erläutert. In den beiden mit einander verbundenen Cylindern A und B wird nämlich das Wasser im gleichen Niveau stehn, so dafs die Querschnitte derselben $\alpha\alpha$ und $\beta\beta$ eine genau horizontale Oberfläche bilden. Giefst man Wasser in die kleine Röhre, so dafs es bis $\gamma\gamma$ steigt, so wird dasselbe in der grofsen sich gleichfalls bis $\beta'\beta'$ erheben, und der kleine Wassercylinder $\gamma\alpha\alpha\gamma$ drückt also gegen die horizontale Fläche $\beta\beta$ mit einer Kraft, welche dem Gewichte eines Cylinders vom Cubikinhalte $\beta\beta'\beta\alpha\beta'$ gleich ist. Der Druck gegen die Fläche $\beta\beta$ wird also der Höhe des Wassers in der kleinen Röhre proportional zunehmen, und kann demnach bis auf eine alle mechanische Mittel übertreffende Gröfse vermehrt werden, wenn

Fig. 134.

1 Die erste Idee, den ungleichen mechanischen Druck des Wassers als bewegende Kraft für Maschinen zu benutzen, findet sich in Pascal's Schrift: De l'équilibre des Liqueurs. Par. 1663.

2 Thomas Young in seinen 1807 erschienenen Lectures erwähnt sie zwar, giebt aber eine Zeichnung, woraus hervorgeht, dafs er die eigentliche Construction nicht kannte.

3 In der Encyclopédie methodique T. IV. p. 379, der zu Paris 1822 gedruckt ist, wird eine ähnliche, aber unvollkommene Presse nach einer Angabe in den Annales des arts et manufactures. T. VI. p. 100. beschrieben.

4 Gilbert in seinen Annalen T. LX. S. 1. theilte 1819 die ursprüngliche Beschreibung derselben durch Nicholson mit, und eine Nachricht von 1818, dafs Nathusius zu Hundisbury sie bereits in Anwendung gebracht habe.

man die Röhre $\gamma\alpha\alpha\gamma$ bedeutend erhöht, oder das in ihr enthaltene Wasser durch ein Gewicht zusammendrückt, welches dem Gewichte des Wassers in der verlängerten Röhre gleich ist. Der Druck in beiden Cylindern verhält sich demnach wie die Quadrate ihrer Halbmesser, so dafs, wenn die Halbmesser sich wie 1:100 verhalten, die Pressungen das Verhältnifs 1:10000 geben, wonach also ohne Rücksicht auf den Verlust an Kraft mit einem Pfunde 10000 ℔ gehoben werden könnten.

Hiernach construirte Bramah seine Presse, und erhielt im März des Jahrs 1796 ein Patent darauf[1]. Sie ist späterhin in keinem wesentlichen Stücke verbessert, indem die neuesten noch genau mit der Beschreibung übereinstimmen, die Nicholson von der ersten gegeben hat, die sich noch jetzt blofs als Muster im Royal Institution zu London befindet. Allgemein wird das Wasser in kleinen Cylindern zusammengeprefst, geht durch ein Verbindungsrohr aus diesem in den grofsen Cylinder, hebt einen in diesem befindlichen Embolus, in dessen Mitte eine verticale Säule aufgerichtet worden ist, deren oberes Ende eine dicke, zum Pressen bestimmte Platte in die Höhe hebt. Die erzeugte Kraftäufserung oder die hervorgebrachte Pressung läfst sich dann leicht berechnen. Wird nämlich auf den längeren Hebelarm, vermittelst dessen man den Embolus im kleineren Cylinder niederdrückt, mit einer Kraft von p Pfunden gewirkt, ist dann das Verhältnifs beider Hebelarme $= m:1$ und der Durchmesser der Cylinder $= n:1$, so wird ohne Rücksicht auf die Hindernisse der Bewegung, der Embolus im weiten Cylinder mit einer Kraft $= p \times m \times n^2$ gehoben werden[2]. Bei dem ersten durch Bramah verfertigten Exemplare, welches sich im Royal Institution befindet, ist der grofse Cylinder 4 engl. Zoll und der kleinere $\frac{1}{8}$ Z. weit, und die Hebelarme verhalten sich wie 12:1. Nach Nicholson wurde bei einer Prüfung dieser Presse in die Waagschale, am längern Ende eines Hebels, welcher gehoben werden sollte,

---

1 Robison Mechan. Phil. ed. Brewster. T. II. p. 257.

2 Setzt man statt der angenommenen, auf die Einheit reducirten Verhältnisse das der Längen der Hebelarme $= L:l$ und das der Halbmesser $= R:r$, so ist der theoretische Nutzeffect $P = p\,\frac{L}{l}.\frac{R^2}{r^2}$.

eine Last von 2000 ℔ gelegt. Die beiden Hebelarme waren 126 und 6 Zoll lang, mithin mufste die Presse mit einer Kraft von 42,000 ℔ die Waagschale heben, was auch bei jedem Pumpenstofse um ¼ Zoll geschah, wenn an das längere Ende des zur Compression dienenden Hebels 47 ℔ gehangen wurden. Mit 43 ℔ wurde Gleichgewicht erzeugt, und da die Theorie hierfür nur 32 ℔ verlangt, so wurde ungefähr ¼ der Kraft zur Ueberwindung der Reibung verwandt. Zu grofsen Pressen nimmt man zwei Druckpumpen mit 1,25 Z. weiten Stiefeln und einen Cylinder von 7 Z. Durchmesser.

Die Bramah'schen Pressen dienen in der Regel blofs zum Drucken; da sie aber auch zum Ziehn eingerichtet werden können, und es hier nicht sowohl darauf ankommt, für den Mechaniker alle einzelne Theile genau zu beschreiben, als vielmehr eine allgemeine Uebersicht derselben zu geben, die von den verschiednen Künstlern ohnehin mehrfach abgeändert werden, so wähle ich unter den verschiednen mir zu Gebote stehenden Zeichnungen und nach der Ansicht eines vorzüglich schönen Musterexemplars im Royal Institution, desgleichen nach den Modellen bei Watkins in London diejenige, welche Barlow[1] davon gegeben hat, um den Bau derselben dem Wesen nach in einem verticalen Durchschnitte darzustellen.

Der Haupttheil der Maschine ist ein weiter hohler Cylinder ABCD, meistens und bei allen vorzüglich grofsen Pressen von Gufseisen, sonst auch von Messing oder Glockenspeise, welcher genau cylindrisch ausgebohrt und ausgeschliffen seyn mufs. In diesem bewegt sich der Embolus EF, welcher bei den kleinern Maschinen massiv ist, bei den gröfsern aber aus einem hohlen, oben und unten mit einer eingeschraubten Platte versehnen Cylinder besteht, in beiden Fällen aber gleichfalls genau abgedreht und abgeschliffen seyn mufs, um sich wasserdicht in dem weiten Cylinder zu bewegen. Auf dem Embolus befindet sich die verticale massive Stange G, die nicht eben gedrängt sich in einer Oeffnung der Dekkelplatte CD bewegt. In den untern Theilen des Embolus ist die massive Stange GH eingeschraubt, welche durch eine

Fig. 135.

1 Encyclopaedia metropolitana. Mixed Sc. T. I. Hydrodynam. Hydraul. Pl. VI. Fig. 39.

wasserdichte Linderung in der Bodenplatte AB auf- und abwärts gezogen wird, und zum Heben grofser Lasten bestimmt ist. Zum untern Theile des grofsen Cylinders führt der Canal bd, welcher durch ein Kegelventil bei a dem Wasser den Rückgang verschliefst, und in den kleinen Cylinder mn mündet. Letzterer ist unten durch das Kegelventil g verschlossen, oben aber durch das eingeschobne Stück rs, welches mit einer Linderung versehn ist, durch welche der massive Stab h wasserdicht schliefsend auf- und abwärts bewegt wird. Zieht man diesen vermittelst eines Hebels in die Höhe, so entsteht im kleinen Stiefel ein leerer Raum, das Wasser dringt durch das mit feinen Löchern zur Abhaltung etwaigen Schmuzes versehene Gefäfs p ein, hebt das Ventil g, und füllt den innern Raum des kleinen Cylinders; drückt man ihn dagegen nieder, so schliefst sich das Ventil g theils durch sein eignes Gewicht, theils durch den Druck des geprefsten Wassers, welches das Ventil a hebt, und durch den Canal bd in den grofsen Stiefel dringt. Die Schraube c dient dazu, vermittelst des kleinen Stiftes das Ventil a so stark zu schliefsen, dafs es durch den Druck des Wassers nicht gehoben werden kann, und ist nur in denjenigen Fällen nöthig, wenn mit dem kleinen Cylinder mn zwei Canäle, die zu zwei grofsen Stiefeln führen, verbunden sind, mit denen man abwechselnd prefst, so dafs die eine Presse stillsteht, wenn die andre gehoben wird. Ist die Pressung oder die Hebung vermittelst der Stange HG′ vollendet, so wird die Schraube e gelüftet, deren untere konische Spitze den Canal f verschliefst, nach dessen Oeffnung das Wasser aus dem weiten Cylinder abfliefst, worauf der Embolus EF durch sein eignes Gewicht herabsinkt.

Die hier beschriebene Construction der hydraulischen Presse ist die ältere, und scheint nach den von mir in England gesehenen Exemplaren zu urtheilen dort noch jetzt, wenigstens zum Theil, in Gebrauch zu seyn. Hachette[1] aber bemerkt, dafs es bei den für starke Pressungen bestimmten kaum möglich sey, das Hervordringen des Wassers neben dem Embolus zu verhüten, und er beschreibt daher folgende Einrichtung derselben. Statt des Embolus wählt man einen massiven

1 Traité élémentaire des machines. 4me ed. Par. 1828. 4. p. 203.

Cylinder EF, welcher nur wenig dünner ist, als die innere Weite des grofsen Cylinders der Presse JJ. Letzterer wird bei ee so ausgedreht, dafs ein etwas erhabener Ring des Metalls stehn bleibt. Ueber diesen wird eine Lederscheibe gelegt, mit einer runden Oeffnung in der Mitte, durch welche der Prefscylinder gedrängt geht; der (in der Zeichnung punctirte) Raum über derselben wird mit Werg oder Hanf, die stark mit Unschlitt getränkt sind, ausgefüllt, und wenn dann die Schraube KK die weiche Masse stark zusammenprefst, so drückt das Wasser diese und die Lederscheibe mit solcher Gewalt gegen den Prefscylinder EF, dafs kein Tropfen entweicht, ohne eine starke Reibung des glatten Metalls an der fettigen Masse zu erzeugen. Es versteht sich zugleich von selbst, dafs es vortheilhafter ist, den untern Theil des Deckelstücks kk nicht mit einer Schraube zu versehn, weil das Festschrauben desselben grofsen Schwierigkeiten unterliegt, sondern statt dessen einen genau passenden Cylinder zu wählen, und diesen vermittelst einiger Schrauben, welche durch den Ring kk in den gleichfalls mit einem starken Ringe versehenen grofsen Cylinder ff herabzudrücken. Der Ring kk endlich wird in der Mitte ausgedreht, die dadurch entstandene Vertiefung $\alpha\alpha$ mit Oel gefüllt, um den Embolus stets fettig zu erhalten, und eine Deckelplatte $\beta\beta$, welche den Cylinder EF genau umschliefst, schützt gegen das Hineinfallen heterogener, die Maschine verderbender Theile.

Fig. 136.

Mehrfache Abänderungen dieser allgemeinen Construction bieten sich von selbst dar, wohin auch die bereits angezeigte gehört, dafs mit der Compressionspumpe mn zwei Pressen verbunden werden. Auf gleiche Weise kann man mit dem Hebel, welcher den Cylinder h bewegt, zwei solche einander gleiche verbinden, deren einer aufsteigt, wenn der andere niedersinkt, so dafs man nur die Hälfte der Zeit gebraucht, ohne die Kraftanstrengung des Arbeiters übermäfsig zu erhöhn, die zwar doppelt so grofs, dafür aber auch während der ganzen Zeit gleichmäfsiger vertheilt ist. Endlich wird zuweilen ein Canal lothrecht auf den durch bd bezeichneten herabgeführt, und oben durch ein hinlänglich beschwertes Sicherheits-Ventil verschlossen, welches sich öffnet, wenn der Druck so stark wird, dafs er die Wandungen des grofsen Cylinders zersprengen könnte; in der Regel aber müssen diese hinlänglich stark

seyn; und da ohnehin das Zerspringen keine Gefahr bringt, die Ventile dieser Art aber nur mit Mühe genau schliefsend darzustellen sind, so kann man sie füglich weglassen.

Um die äufsere Gestalt dieser Pressen, wie sie gewöhnlich dargestellt werden, etwas mehr zu versinnlichen, theile ich noch eine Ansicht dieser interessanten Maschinen mit, die man nach der Beschreibung ihrer erstaunlichen Wirkungen sich als colossal zu denken geneigt wird, die aber nichts weniger als übermäfsig grofs, ja man darf sagen auffallend klein sind, indem blofs die eigentlich zum Pressen bestimmten Theile die erforderliche Stärke haben müssen. MM′ ist eine starke eiserne oder steinerne Platte, welche die ganze Maschine trägt und nur bei den kleinen Pressen aus einem dicken Stücke Holz gemacht wird. Auf dieser ruht der Cylinder ABCD, und wenn die Vorrichtung auch zum Ziehen dienen soll, so geht die Zugstange durch diese Platte hindurch. HH′, KK′ sind zwei sehr massive und starke, meistens vierkantige, in die Bodenplatte unzerstörbar befestigte eiserne Säulen, zwischen denen die Platte FF′ zum Festhalten des grofsen Cylinders dient. Am obern Ende dieser Säulen ist mit gleicher Stärke die massive eiserne Platte NN′ befestigt, die den ganzen Druck der Maschine auszuhalten hat, und daher durch zwei hinlänglich starke Keile niedergehalten wird. Auf der Mitte der durch den Embolus gehobenen Stange ruht die gleichfalls massive eiserne Platte LL′, welche an der obern Seite ganz eben, an der untern dagegen nach der Mitte hin dicker und noch obendrein mit einem Kreuze versehen ist, dessen Arme nach den Seiten hin dünner werden, in der Mitte aber etwas vertieft sind, um die dicke runde oder vierkantige Platte aufzunehmen, in welcher die hebende Säule steckt. Der kleine Cylinder n ruht gleichfalls der Festigkeit wegen auf der massiven Bodenplatte, durch welche sein unterer Theil hindurch in ein Wassergefäfs geführt ist, aus welchem die Speisung der Maschine geschieht, und in welches das bereits zur Compression gebrauchte Wasser wieder abfliefst. Die Vorrichtung, mittelst deren der Embolus oder die seine Stelle vertretende Stange auf- und abwärts gedrückt wird, deren Bewegung allezeit genau vertical seyn mufs, eben wie die sonstigen bereits beschriebenen Theile der Maschine sind an sich klar.

Fig. 187.

Dafs diese Maschinen, ihrer erstaunlichen Wirkungen ungeachtet, dennoch keine aufserordentliche Gröfse haben, beweisen am besten folgende durch BARLOW angegebene, und zwar von keinem bestimmten Exemplare entnommene, aber dennoch den eigentlichen gewifs sehr nahe kommende Bestimmungen. Ist der Durchmesser des grofsen Cylinders = 12 Z. und der des kleinen oder des *Injectors*, etwa 0,25 Z., so ist das Verhältnifs der Flächen beider Wassercylinder = 2304:1. Wird dann der Embolus mit einer Kraft von 20 c:wt. niedergedrückt[1], so hebt sich der Embolus im grofsen Cylinder mit einer Kraft von 20×2304=46080 cwt. oder 2304 Tonnen. Um die letzteren Gröfsen auf bekanntere Bestimmungen zu reduciren, wollen wir annehmen, dafs auf das Ende des längern Hebelarms der Compressionspumpe mit einer Kraft von 50 ℔ gewirkt werde, was gegen das Ende der Arbeit auf kurze Zeit füglich geschehn kann, und allerdings als Maximum, dafs das Verhältnifs der Hebelarme = 1:50 sey, in welchem Falle die in den engern Cylinder herabzupressende Stange nur 1 Z. herabgehn, das Ende des Hebelarms aber 4 F. 2 Z. durchlaufen müfste, so erhalten wir den Brutto-Nutzeffect = 5'760000 ℔, und wenn dieser zur Auffindung

---

1 Das engl. C.wt. beträgt 112 ℔ av. du poid Gewicht, und das ℔ av. du poid nach genauester Valvirung 453,594 Gramme (vergl. Art. *Mafs*). Hiernach betragen 20 C.wt. nahe genau 1016 Kilogramme, und wenn man also annimmt, dafs ein Mensch gegen das Ende der Operation, wo die Compression am stärksten seyn mufs, den Hebelarm der kleinen Pumpe mit einer Kraft von 20 Kilogrammen niederdrückt, so müfste das Verhältnifs der Längen beider Hebelarme 1:50 seyn, mithin müfste das Ende des bewegten längeren Armes 4 Fufs 2 Zoll durchlaufen, wenn der Cylinder der kleinen Presse 1 Zoll herabgehn, der Cylinder der grofsen aber $\frac{1}{2304}$ Zoll steigen sollte. Angenommen, dafs jedes Niederdrücken und Heben des kleinen Cylinders 4 Secunden Zeit erforderte, so würde die Presse in 1 Stunde und 8 Minuten nur 1 Zoll hoch steigen, und wenn man nach NICHOLSON's oben erwähnter Angabe $\frac{1}{5}$ für Hindernisse der Bewegung abrechnet, so müfste ein Mensch 1 Stunde 25 Minuten arbeiten, um das pressende Brett 1 Zoll hoch zu heben, würde dabei aber mit einer Anstengung von etwa 40 Pfund eine Kraftäufserung von 4,6 Millionen ℔ erzeugen. Inzwischen dürfte diese Leistung der Maschine doch wohl als ein kaum erreichbares Maximum zu betrachten seyn, die im Texte hypothetisch angenommenen Gröfsen stimmen mit BARLOW's Angaben sehr nahe überein.

des wirklichen Nutzeffects in dem oben angegebenen Verhältnisse von 32:43 zur Berechnung der Hindernisse genommen würde, so bliebe dennoch die unerwartete Gröfse von fast 4'280000 ℔. Barlow bemerkt mit Recht, dafs diese Maschine bei ihrer Einfachheit keineswegs den vielfachen Hindernissen und Unbequemlichkeiten unterliegt, die bei andern aus den verschiednen einzelnen Theilen derselben hervorgehn, und dafs ihre Kraft durch Aenderung des einen oder des andern der angegebenen Verhältnisse nach Willkür verstärkt werden kann, wenn man nur für hinlängliche Dauerhaftigkeit der Theile sorgt. Hierzu kommt noch die Bequemlichkeit, dafs man das Verbindungsrohr beider Cylinder auf nicht ganz unbeträchtliche Strecken fortführen, und daher die Maschinentheile an verschiedenen Orten aufstellen kann, abgerechnet, dafs die ganze Maschine nicht grofs und leicht von einem Orte zum andern transportirbar ist.

Die Construction der hydromechanischen Pressen ist dem Wesen nach so einfach, dafs ihr Bau keine wesentliche Abänderungen erhalten hat, so vielfache Anwendungen man von denselben auch macht, indem sie zum Copiren der Briefe, insbesondere zum Pressen des Papiers, zum Auspressen des Wassers aus gebleichten und gewaschenen Zeugen, zum Zusammendrücken leichter Waaren, als seidener und baumwollener Zeuge, des Heues, des Schiefspulvers u. s. w., damit diese gegen den Einflufs der Nässe geschützt werden und auf den Schiffen einen kleineren Raum einnehmen, ferner zum Ausreifsen der Pfähle und Baumwurzeln, ja sogar zum Heben sehr schwerer Lasten u. s. w. gebraucht werden. Hauptsächlich hat man eine Mangelhaftigkeit derselben darin gefunden, dafs die zur Bewegung des Stempels erforderliche Kraft nicht stets gleichmäfsig ist, indem sie vielmehr bedeutend zunehmen mufs, wenn die geprefsten Substanzen dichter werden, was zwar bei allen andern Pressen gleichfalls statt findet, sich aber besonders dann als hindernd zeigt, wenn die Presse durch eine stets gleichbleibende mechanische Kraft bewegt werden soll. Es sind daher mehrere Vorschläge gemacht, um diesem Mangel zu begegnen, namentlich durch Alban[1], welcher die stark comprimirte Luft zu diesem Zweck anwendet, was je-

1 Dingler's polytech. Journ. Bd. XXXII. S. 78.

doch wegen der Gefahr des Zerplatzens der hierzu erforderlichen Gefäfse und der Schwierigkeit, stark comprimirte Luft gehörig abzuschliefsen, nicht allgemeinen Beifall finden möchte. Weit einfacher ist eine durch Tredgold[1] beschriebene Vorrichtung, die ein gewisser Spiller erfunden, und in Verbindung mit Bramah hat patentiren lassen. Sie ist im Wesentlichen auf folgendes Princip gegründet. Die zur Bewegung der Injectionspumpen erforderliche Kraft ist der Menge des einzupressenden Wassers multiplicirt in den dabei zu überwindenden Widerstand proportional. Indem aber der letztere Factor bei jedem Kolbenzuge zunimmt, so ist es nöthig, den erstern abnehmend zu machen. Zu diesem Ende werden zwei Injectionspumpen angebracht, beide durch Krummzapfen an gezahnten Rädern bewegt, welche mit einem gemeinschaftlichen Schwungrade versehn sind, und wovon das eine nur einen Zahn weniger hat als das andere, mithin beim gemeinschaftlichen Umlaufen um denjenigen aliquoten Theil zurückbleiben mufs, welcher durch die Gesammtzahl der Zähne bestimmt wird. Wenn daher beide Krummzapfen anfangs einander parallel sind, und gleichzeitig zur Injicirung des Wassers niedergedrückt werden, so wird der eine in seiner Richtung gegen den andern einen Kreis durchlaufen, nach dessen halber Vollendung der eine Embolus aufsteigt, wenn der andere niedergedrückt wird, wodurch dann in dem nämlichen Zeitmomente nur die Hälfte des Wassers im Verhältnifs zur ersten Injection in den gröfsern Cylinder geprefst wird, obgleich die Quantität des eingeprefsten Wassers im Ganzen sich gleich bleibt.

Es scheint mir jedoch, als ob sich der vorliegende Zweck auf eine andere einfachere Weise erreichen liefse. Indem es nämlich bei dieser Art von Injectionspumpen keineswegs nothwendig ist, dafs der Embolus stets gleich hoch gehoben werde, die Menge des injicirten Wassers aber dieser Höhe direct proportional zunimmt, so bedarf es blofs einer Vorrichtung, diese Höhe auf eine solche Weise zu vermindern, dafs sie ihr Minimum erreicht, wenn die Pressung der Maschine auf ihr Maximum gestiegen ist. Zu diesem Ende würde ich vorschlagen, den Krummzapfen am Rade A aus einer männlichen Fig. 138.

1 Edinburg philosoph. Journ. Nr. XXVII. S. 29.

Schraube zu verfertigen, die Warze aber, welche die Stange bg hält, auf eine Hülse d zu befestigen und diese über einen inwendig mit einer mütterlichen Schraube versehenen Cylinder zu stecken. Letzterer wäre dann am einen Ende mit 4 um einen Quadranten von einander abstehenden, auf die Axe lothrechten Armen zu versehn, von denen bei jeder Umdrehung des Rads einer n von einer horizontalen Querstange gefafst und durch den Bogen eines Quadranten so umgedreht würde, dafs die Hülse d und diesemnach auch die Warze der Stange bei jeder Umdrehung um 0,25 eines Schraubengangs dem Centrum c näher rückte. Hierdurch würde bei jedem Auf- und Niedergange des Embolus der die Stange bewegende Hebelarm kürzer, mithin seine Kraft in gleichem Verhältnisse stärker und aus der Zahl der zum Maximum der Pressung erforderlichen Menge von Pumpenstöfsen liefse sich dann die Zahl der Schraubengänge leicht berechnen, welche erforderlich wäre, um die Warze aus ihrem anfänglichen gröfsten Abstande dem Centrum zuletzt am nächsten zu bringen, wobei sich von selbst versteht, dafs zu gröfserer Stärke des die Stange gb bewegenden Hebelarms an der hintern Seite der Hülse d ein Zapfen angebracht seyn mufs, welcher sich in einem Einschnitte der Scheibe A bewegt, und verhütet, dafs nicht die Schraube die ganze zum Heben und Niederdrücken des Embolus erforderliche Kraft zu leisten habe. Die hydraulischen Pressen müssen nach Erreichung des Maximums der Pressung zum Stillstehn gebracht werden, um das Wasser wieder abfliefsen zu lassen und während dieser Zeit kann man die Schraube wieder zurückschrauben, damit sie bei der wieder beginnenden Pressung abermals auf die anfängliche Weise wirke. Hat man zwei vereinte Pressen, die mit einander wechseln, z. B. beim Oelpressen, so liefse sich die Einrichtung leicht so treffen, dafs die nämliche bewegende Kraft zuerst die eine und während des Stillstandes von dieser die andre Presse in Bewegung setzte.

Beschreibungen und Zeichnungen der gewöhnlichen hydraulischen Pressen sind in Menge bekannt gemacht, unter andern durch Christian[1], welcher ihnen die angezeigten Vor-

---

1 Traité de Mécanique industrielle cet. Par. 1825. T. III. p. 380 und 82.

züge allerdings einräumt, sie jedoch für zu sehr zusammengesetzt in ihrem Baue und einer zu genauen Sorgfalt in der Behandlung bedürfend hält. Vorzüglich belehrend handelt über dieselben v. GERSTNER[1] theils nach frühern Beschreibungen, theils nach eigner Ansicht und Prüfung solcher Maschinen. Einige Verbesserungen derselben sind vorgeschlagen, unter andern durch D. A. BORGNIS[2], um sie zum Auspressen des Oels und Mostes bequem einzurichten, desgleichen durch HALLETTE[3], dessen Maschine jedoch in einem hohen Grade künstlich gebaut ist. ALBAN[4] sucht darzuthun, dafs es besser sey, Oel zur comprimirenden Flüssigkeit zu wählen, als Wasser, wofür sich allerdings bedeutende Gründe anführen lassen, obgleich der höhere Preis dieser Substanz und das allmälige Dickwerden derselben sich als Hindernisse zeigen.

M.

Prisma.

Prisma; le Prisme; *the Prisme;* ist in der Stereometrie der Name jedes Körpers, dessen ebene Seitenflächen sich in parallelen Linien schneiden und dessen beide Grundflächen parallele Ebenen sind.

In der Physik wird vorzüglich in der Optik vom Prisma Gebrauch gemacht, indem man sich der prismatischen Körper bedient, um die Erscheinungen der Brechung des Lichts und der dabei hervorgehenden Farben zu zeigen, auch um die Stärke der Brechung zu bestimmen.

Man bedient sich gewöhnlich der dreiseitigen Prismen, indefs kommt es bei der Bestimmung der Brechung nur auf die Neigung der beiden Seitenflächen an, durch welche der eintretende und wieder austretende Lichtstrahl geht, und dieser Winkel heifst der *brechende Winkel.* Soll das Prisma zu genauen Versuchen dienen, so müssen diese zwei Seitenflächen vollkommene Ebenen seyn und man mufs ihren Nei-

1 Handbuch der Mechanik. Bd. II. §. 100. S. 132. Prag. 1832. 4.

2 Brugnatelli Giornale di Fisica cet. T. X. p. 1.

3 Bulletin de la Soc. d'Encouragement. N. 272. daraus in Dingler's polyt. Journ. T. XXIV. p. 473.

4 Dingler's Journ. T. XXIX. p. 85.

gungswinkel genau kennen; auch mufs das Prisma aus einer vollkommen gleichartigen Materie bestehn, damit nicht die Brechung in einigen Theilen eine andre sey. Will man sich flüssiger Materien bei der Untersuchung über die Brechung bedienen, so wendet man ebene Glasplatten mit genau parallelen Oberflächen an, befestigt diese unter einem angemessenen Winkel an einander und füllt den so entstandenen prismatischen Raum mit jener Flüssigkeit. Um das Glasprisma, dessen man sich am meisten bedient, bequem zu gebrauchen, ist es gut, es so auf einem Gestelle zu befestigen, dafs es um eine mit den Kanten genau parallele Axe sich drehen läfst.

Der eigentliche Gebrauch des Prisma's ist erst durch Newton's Entdeckungen den Physikern klar geworden, indefs ist die Kenntnifs, dafs eckig geschliffene Gläser Farben zeigen, sehr alt[1] und Descartes machte schon vom Prisma Gebrauch, um Farbenerscheinungen darzustellen, die mit dem Regenbogen Aehnlichkeit hätten[2]. Newton's Anwendung des Prisma's ist in den Artikeln *Brechbarkeit*, *Brechung*, *Farbe*, angegeben.

Das einfache Prisma.

Fig. 139. Wenn der brechende Winkel des Prisma's, $ABC = \alpha$ und das Brechungsverhältnifs $= \mu$ bekannt ist, so läfst sich der Winkel bestimmen, den der nach zwei Brechungen hervorgehende Strahl mit dem einfallenden Strahle macht. Es sey FD der einfallende Strahl, DG der gebrochene, jener mache mit dem Einfallslothe den Winkel $= \varphi$, dieser den Winkel $= \varphi'$, und ebenso sey wieder bei G φ'' der Winkel, den der Strahl DG, φ''' der Winkel, den der hervorgehende Strahl GJ mit dem Einfallslothe macht; so erhellet aus den Regeln der Brechung leicht, dafs $\text{Sin.}\,\varphi' = \mu\,\text{Sin.}\,\varphi$ $\text{Sin.}\,\varphi''' = \frac{1}{\mu}\text{Sin.}\,\varphi''$ ist, und da im Dreiecke BDG die Winkel α, $90° - \varphi'$, $90° - \varphi''$ vorkommen, so ist $\alpha = \varphi' + \varphi''$. Diese drei Gleichungen reichen hin, sowohl φ''' zu berechnen, wenn φ gegeben ist, als

1 Seneca in quaest. natur. I. 7. Zahn oculus artificialis. Norib. 1702. p. 498.

2 Priestley Geschichte der Optik. S. 91.

auch den Winkel $=\eta$ zu finden, den die Linien FD, GJ mit einander machen, oder die gesammte Gröſse der Brechung. Es ist nämlich

$$\eta=\varphi-\varphi'+\varphi'''-\varphi'',$$
$$\text{oder } \eta=\varphi+\varphi'''-\alpha.$$

Als besonderer Fall verdient der, wo $\alpha=0$ ist, erwähnt zu werden, nämlich derjenige, wo die beiden Seitenflächen parallel sind. Hier ist $\varphi''=-\varphi'$ und daher

$$\varphi'''=-\varphi,$$

also $\eta=0$, der hervortretende Strahl mit dem einfallenden parallel.

Wenn α einen bestimmten Werth hat oder man immer dasselbe Prisma anwendet, ist η abhängig von φ und ändert sich, wenn φ sich ändert; *η erhält seinen kleinsten Werth, wenn $\varphi=\varphi'''$ und folglich $\varphi'=\varphi''$ ist.* Denn man hat allgemein

$d\eta=d\varphi+d\varphi'''$, also für den Fall des Gröſsten oder Kleinsten

$d\varphi=-d\varphi'''$. Da nun

$$d\varphi=\frac{d\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi'}{\mu.\text{Cos.}\,\varphi};$$

$$d\varphi'''=\frac{d\varphi''\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\mu.\text{Cos.}\,\varphi'''}, \text{ oder weil}$$

$d\varphi''=-d\varphi'$ ist,

$$d\varphi'''=-\frac{d\varphi'.\text{Cos.}\,\varphi''}{\mu.\text{Cos.}\,\varphi'''}, \text{ so muſs}$$

$\frac{\text{Cos.}\,\varphi'}{\text{Cos}\,\varphi}=\frac{\text{Cos.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'''}$ seyn für den kleinsten Werth. Diese Bedingungen mit der allgemeinen $\text{Cos.}\,\varphi'=\sqrt{(1-\mu^2\ \text{Sin.}^2\varphi)}$ und $\text{Cos.}\,\varphi''=\sqrt{(1-\mu^2\ \text{Sin.}^2\varphi''')}$ verbunden, giebt:

$$(1-\mu^2\ \text{Sin.}^2\varphi)(1-\text{Sin.}^2\varphi''')=(1-\text{Sin.}^2\varphi)(1-\mu^2\text{Sin.}^2\varphi'''),$$

woraus $\text{Sin.}\,\varphi=\text{Sin.}\,\varphi'''$ folgt. Da hiermit $\varphi'=\varphi''$ nothwendig verbunden ist, so findet der Fall der kleinsten Ablenkung des Strahls statt, wenn $\varphi'=\varphi''=\frac{1}{2}\alpha$ ist, oder wenn der Lichtstrahl DG mit beiden Seitenflächen in der Brechungs-Ebene gleiche Winkel macht[1].

Daſs dieser Fall einen *kleinsten* Werth für η giebt, er-

1 Ein mehr elementarer Beweis findet sich in Ann. de Ch. et Ph. XLVII. 88.

hellet, wenn man $d^2\eta$ sucht. Hierbei ist es am natürlichsten, $d\varphi$ als constant, oder die Aenderungen von φ als gleichmäſsig fortgehend anzusehn, so daſs $d^2\eta = d^2\varphi'''$ ist.

Da $d\varphi''' = -d\varphi \frac{\text{Cos.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi'''}$, so ist

$$d^2\varphi''' = \frac{d\varphi^2\ \text{Sin.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi'''} - \frac{d\varphi\, d\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi\ \text{Sin.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi'''}$$
$$- \frac{d\varphi\, d\varphi'\ \text{Sin.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\text{Cos.}^2\,\varphi'.\ \text{Cos.}\,\varphi'''}$$
$$- \frac{d\varphi\, d\varphi'''.\ \text{Sin.}\,\varphi'''\ \text{Cos.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'.\ \text{Cos.}^2\,\varphi'''}.$$

Dieses geht für den Fall, da $d\varphi = -d\varphi'''$, $\varphi = \varphi'''$, $\varphi'' = \varphi'$ war, in

$$d^2\varphi''' = d\varphi^2.\ \text{Tang.}\,\varphi - 2\,d\varphi\, d\varphi'\ \text{Tang.}\,\varphi' - d\varphi\, d\varphi'''\ \text{Tang.}\,\varphi$$
$$= 2\,d\varphi\,[d\varphi\ \text{Tang.}\,\varphi - d\varphi'\ \text{Tang.}\,\varphi']$$
$$= 2\,d\varphi^2 \left\{\text{Tang.}\,\varphi - \frac{\mu\,\text{Cos.}\,\varphi}{\text{Cos.}\,\varphi'}\ \text{Tang.}\,\varphi'\right\}$$

über. Dieser Werth von $d^2\varphi'''$ oder $d^2\eta$ ist aber gewiſs positiv (also η ein Kleinstes in diesem Falle) da schon $\text{Tang.}\,\varphi' < \text{Tang.}\,\varphi$, ferner $\mu < 1$ und $\frac{\text{Cos.}\,\varphi}{\text{Cos.}\,\varphi'} < 1$.

Für diesen Fall der kleinsten Brechung ist also $\eta = 2\varphi - \alpha$ und $\text{Sin.}\,\varphi = \frac{1}{\mu}.\ \text{Sin.}\,\frac{1}{2}\alpha$, oder wenn, wie es am häufigsten der Fall ist, $\alpha = 60°$, $\text{Sin.}\,\varphi = \frac{1}{2\mu}$.

Man erkennt im Versuche selbst diejenige Lage, bei welcher η am kleinsten wird, daran, daſs die Richtung des gebrochen hervorgehenden Strahls sich fast gar nicht ändert, wenn man auch das Prisma etwas dreht und dadurch die Gröſse von φ ändert. Ist nämlich PQ ein in das dunkle Zimmer fallender Sonnenstrahl, so sieht man bei der Drehung des Prisma's das Sonnenbild O an der Wand herabrücken, bis $\varphi = \varphi'''$ geworden ist; wenn dieses statt findet, so kann man die Drehung nach eben der Richtung um einen merklichen Winkel fortsetzen, ohne daſs das Sonnenbild seine Lage ändert; setzt man die Drehung noch weiter fort, so steigt das Sonnenbild wieder und hatte also für $\varphi = \varphi'''$ seine niedrigste

Fig. 140.

oder der kleinsten Brechung entsprechende Lage erreicht. Ebenso wenn man das Auge in O stellt, um den Gegenstand P wahrzunehmen, sieht man diesen nach der Richtung Op, und bei der Drehung des Prisma's rückt der scheinbare Ort p des Gegenstands hinauf, bis das Prisma die Stellung hat, wo $\varphi = \varphi'''$ ist, dann aber fängt er wieder an herabzurücken, wenn man das Prisma noch weiter dreht.

Wenn $\alpha = 60°$ ist, so tritt der Fall der kleinsten Brechung ein für $\varphi' = 30°$, und es ist daher für ein Glasprisma, wo $\mu = \frac{2}{3}$, $\varphi = \varphi''' = 48° \, 36'$ und die gesammte Brechung $= 97° \, 12' - 60° = 37° \, 12'$, für ein Wasserprisma, wo $\mu = \frac{3}{4}$, ist $\varphi = 41° \, 49'$, $\eta = 23° \, 38'$.

Ein Prisma kann den Fall der kleinsten Brechung offenbar gar nicht mehr darbieten, wenn $\frac{1}{\mu}$ Sin. $\frac{1}{2}\, \alpha > 1$ ist, also darf bei einem Glasprisma, wenn $\frac{1}{\mu} = 1{,}5$ ist, das Prisma keinen brechenden Winkel haben, der mehr als $83° \, 38'$ beträgt. Neben diesem *einen* Hauptfalle, wo die Brechung am kleinsten ist, verdient ein zweiter Hauptfall näher betrachtet zu werden, wo der Strahl gar nicht mehr bei G hervorgeht, sondern die totale Reflexion eintritt. Dieses geschieht da, wo Sin. $\varphi''' > 1$ werden sollte, oder die Grenze der Totalreflexion ist da, wo Sin. $\varphi''' = 1$ oder $\mu =$ Sin. $\varphi'' =$ Sin. $(\alpha - \varphi')$ ist. Man erhält also $\mu = \text{Sin.}\, \alpha . \sqrt{(1 - \mu^2 \text{Sin.}^2 \varphi)} - \text{Cos.}\, \alpha . \mu \, \text{Sin.}\, \varphi$, woraus $\mu^2 \, \text{Sin.}^2 \varphi + 2 \mu^2 \, \text{Sin.}\, \varphi . \, \text{Cos.}\, \alpha = - \mu^2 + \text{Sin.}^2 \alpha$, oder $\mu \, \text{Sin.}\, \varphi = - \mu \, \text{Cos.}\, \alpha + \text{Sin.}\, \alpha \sqrt{(1 - \mu^2)}$ folgt. Fig. 139.

Für $\alpha = 60°$ und $\mu = \frac{2}{3}$ erhält man diesen Werth von Sin. $\varphi - \frac{\sqrt{3}}{2} . \frac{\sqrt{5}}{2} - \frac{1}{2}$, also $\varphi = 27° \, 55'$. In einem Glasprisma, wo $\alpha = 60°$ ist, kann also der einfallende Strahl nur dann aus der Seitenfläche BC in die Luft hervorgehn, wenn φ zwischen $90°$ und $27° \, 55'$ ist; sobald FDA $> 62° \, 5'$ ist, fängt der Strahl an, in G gänzlich zurückgeworfen zu werden, wenn er dort in die Luft hervordringen soll. Läge dagegen an BC eine andere Materie, Wasser zum Beispiel, an, so dafs μ' dort einen von μ verschiednen Werth erhielte, so hätte man allgemeiner Sin. $\varphi''' = 1 - \frac{1}{\mu}$. Sin. φ'',

also $\mu' = \text{Sin.}\ \alpha . \sqrt{(1 - \mu^2\ \text{Sin.}^2\ \varphi)} - \mu\ \text{Sin.}\ \varphi .\ \text{Cos.}\ \alpha .$

$$\text{oder}\ \mu^2 \text{Sin.}^2 \varphi + 2\mu\mu'\ \text{Sin.}\ \varphi\ \text{Cos.}\ \alpha = \text{Sin.}^2\ \alpha - \mu'^2,$$

$\mu\ \text{Sin.}\ \varphi = - \mu'\ \text{Cos.}\ \alpha + \text{Sin.}\ \alpha \sqrt{(1 - \mu'^2)}$. Dieses würde, wenn Wasser an B C anläge und $\mu' = \frac{8}{9}$ ist, für $\alpha = 60°, \mu = \frac{2}{3}$, $\text{Sin.}\ \varphi = -\frac{2}{3} + \frac{3}{2} . \frac{\sqrt{3}}{2} . \frac{\sqrt{17}}{9} = -0{,}0715$. geben, also $\varphi = -4° 6'$. Selbst der auf A B senkrecht einfallende Strahl, für den $\varphi'' = 60°$ ist, giebt $\varphi''' = 76° 59'$, also einen in das Wasser eindringenden Strahl; ist aber $\varphi = -4°$, oder A D F $= 94°$, $\varphi' = -2° 40'$, $\varphi'' = 62° 40'$, so wird $\varphi''' = 88°$ und dieser Strahl ist also beinahe der letzte, der noch hervordringt. Ist der brechende Winkel des Prisma's gröſser als 60°, so ist der Grenzwerth von φ gröſser und die Erscheinung der Refraction des Strahls ist also von $\varphi = 90°$ an auf einen immer kleineren Winkel beschränkt, je gröſser α ist; für $\alpha = 83° 38'$ ist $\varphi = 90°$ selbst die Grenze, und kein einfallender Lichtstrahl geht gebrochen an der andern Seite hervor, sondern alle erleiden die totale Reflexion.

Die bisherigen Betrachtungen sind so angestellt, daſs μ als bekannt angesehn würde; wäre dagegen φ und φ''' bestimmt, so könnte man μ durch Beobachtung der gesammten Brechung finden, ein Zweck, zu welchem das Prisma oft angewandt wird[1]. Unter den von den Farben nicht abhängenden Erscheinungen durch das Prisma will ich nur einer erwähnen. Wenn man durch das Prisma sehend eine mit den Kanten des Prisma's parallele gerade Linie betrachtet, so erscheint sie gekrümmt. Dieses kommt daher, weil da, wo man ein gröſseres Gesichtsfeld übersieht, die Strahlen nicht sämmtlich, wie wir bisher es angesehn haben, in der Ebene des Neigungswinkels jener beiden brechenden Ebenen liegen. Der Winkel α kommt für die seitwärts liegenden Strahlen nicht genau so, wie für die aus der Mitte des Gesichtsfeldes zu uns gelangenden Strahlen, vor, und es lieſsen sich leicht die genauen Bestimmungen auch für die seitwärts liegenden Puncte angeben.

Bei den Untersuchungen über das Farbenbild, welche das

---

1 S. Art. *Brechung*.

Prisma darstellt, scheinen mir die Fragen, 1. ob denn das Sonnenbild bei gleicher Brechbarkeit aller Strahlen rund erscheinen würde, und 2. welche Verlängerung des Farbenbildes unter verschiedenen Unständen hervorgeht, vorzügliche Aufmerksamkeit zu verdienen.

Wenn die Sonnenstrahlen durch eine sehr kleine Oeffnung in das dunkle Zimmer eindringen, so bilden sie einen Kegel, dessen Spitze in der Oeffnung liegt und dessen Seitenlinien einen Winkel, gleich dem scheinbaren Durchmesser der Sonne, mit einander machen. Auf einer Tafel, die dem Sonnenstrahle, ohne Zwischenkunft eines Prisma's, senkrecht entgegen gehalten wird, zeigt sich also ein kreisförmiges Sonnenbild, und wir fragen nun, welche Aenderung leidet die Gestalt dieses Sonnenbildes, wenn die Sonnenstrahlen im Prisma gebrochen, aber alle gleich gebrochen werden. Wenn man durch die Oeffnung und den Mittelpunct der Sonne eine mit den Kanten des Prisma's parallele Ebene legt, so können wir von den in dieser Ebene liegenden Strahlen des sehr eng begrenzten Strahlenkegels annehmen, dafs sie eben die Divergenz nach der Brechung, wie vor der Brechung behalten, eine Divergenz, die dem scheinbaren Sonnendurchmesser gleich, $= 31'$ ist; für die Strahlen dagegen, die in einer gegen die Kanten des Prisma's senkrechten Ebene liegen, mufs eine nähere Untersuchung statt finden. Wenn einer dieser Strahlen unter dem Winkel φ, ein andrer unter dem Winkel $\varphi + \Delta\varphi$ auffällt, so ist die Aenderung von φ''', nach unserer vorigen Bezeichnung, nahe genug $\Delta\varphi''' = -\frac{\Delta\varphi.\ \text{Cos.}\ \varphi.\ \text{Cos.}\ \varphi''}{\text{Cos.}\ \varphi'.\ \text{Cos.}\ \varphi'''}$.

Daraus folgt $\Delta\eta = \Delta\varphi \left(1 - \frac{\text{Cos.}\ \varphi.\ \text{Cos.}\ \varphi''}{\text{Cos.}\ \varphi'.\ \text{Cos.}\ \varphi'''}\right)$ und dieses wird $= 0$, das ist, die Strahlen werden gleich stark gebrochen, behalten also ihre Neigung von $31'$ auch nach der Brechung, wenn $\varphi = \varphi'''$; $\varphi'' = \varphi'$ ist; aber in jedem andern Falle findet eine Aenderung der Neigung der gebrochenen Strahlen statt, die für $\alpha = 60°$ und $\mu = \frac{4}{3}$, wenn $\varphi''' = 85°$ ist, auf $\Delta\varphi''' = 8.\ \Delta\varphi$ steigt. Der vom einen Sonnenrande unter dem Winkel $\varphi = 28°$ auffallende Strahl giebt $\varphi''' = 87°\ 29'$, der vom andern Sonnenrande unter dem Winkel $\varphi = 28°\ 31'$ auffallende Strahl giebt $\varphi''' = 83°\ 8'$, also beide Strahlen beim Hervorgehen um $4\frac{1}{3}°$ divergirend, dagegen für $\varphi = 48°\ 5'$ und

$48° 36'$, $\varphi''' = 49° 6' 5''$ und $48° 34' 50''$, $\Delta\varphi''' = 31', 25''$ also von $\Delta\varphi$ wenig verschieden ist. Im ersten Falle würde also das Sonnenbild selbst bei gleicher Brechung aller Strahlen in die Länge gezogen, in dem Falle der kleinsten Brechung dagegen müfste es fast ganz genau kreisförmig erscheinen.

Das Farbenbild ist dagegen auch bei der Stellung, wo die Brechung am kleinsten ist, sehr in die Länge gezogen und dieses kann durch nichts anders als durch die ungleiche Brechung der verschiedenen Farbenstrahlen erklärt werden. Diese Verlängerung des Farbenbildes ist ungleich nach der Brechungs- und Zerstreuungskraft jedes Körpers, wie aus folgenden Beispielen erhellet, in welchen μ das Brechungsverhältnifs für die rothen, μ' für die violetten Strahlen ist, und $\alpha = 60°$ angenommen wird.

1. Für Flintglas, wo $\mu = 0{,}6132$, $\mu' = 0{,}6053$ ist, würde die kleinste Brechung für $\varphi = \varphi''' = 55° 10'$ für die mittlern Strahlen statt finden; aber $\varphi = 55° 10'$ giebt für rothe Strahlen $\varphi''' = 56° 15'$, für violette $\varphi''' = 54° 7'$. Ein einziger Sonnenstrahl verbreitet sich also über den Raum, der dem Winkel $= 2° 8'$ entspricht, und die Länge des Sonnenbildes wird $2° 39'$, also fünfmal so lang als breit.

2. Das Tafelglas giebt $\mu = 0{,}6562$, $\mu' = 0{,}6503$ und zu $\varphi = 49° 57'$ gehört $\varphi''' = 50° 33'$ im einen Falle, $\varphi''' = 49° 20'$ im andern Falle; das Sonnenbild ist $= 1° 13' + 31' = 1° 44'$ lang, also nur $3\frac{1}{3}$ mal so lang als breit.

3. Das Brechungsverhältnifs für Wasser ist $\mu = 0{,}7507$, $\mu' = 0{,}7469$ und $\varphi = 41° 53'$ giebt die beiden Werthe von $\varphi''' = 42° 91$; $41° 37'$; Länge des Sonnenbildes $= 63'$, und doppelt so lang als breit.

Welchen Raum in diesem Spectrum jede Farbe einnimmt, ist in den Artikeln *Brechung*[1] und *Farbe*[2] angegeben.

In dieser Betrachtung des einfachen Prisma's verdienen nun noch die mehreren farbigen und weifsen Sonnenbilder eine Erwähnung, die sich uns zeigen, wenn ein Sonnenstrahl im dunkeln Zimmer auf das Prisma fällt. Es sey AB ein eng begrenzter Lichtstrahl, der nach BC, CD gebrochen wird, so zeigt sich in D das eigentliche Farbenbild, auf welches wir

Fig. 141.

---

1 S. 1124.
2 S. 72.

unsre Aufmerksamkeit zu richten pflegen; aber schon in B leiden die Lichtstrahlen eine Zurückwerfung, ein Theil des Lichts geht daher für jenes Farbenbild verloren und zeigt uns bei E ein Sonnenbild. Daſs dieses ein weiſses Sonnenbild seyn muſs, erhellet leicht, da bei der Reflexion keine Farbenzerstreuung statt findet. Ein zweites von der Zurückwerfung abhängendes Sonnenbild entsteht dadurch, daſs der bei C auf die Rückseite des Prisma's treffende Lichtstrahl nicht ganz hervordringt, sondern zum Theil nach CF zurückgeworfen wird, dann aber, bei F gebrochen, nach der Richtung FG hervorgeht. Es ist leicht zu übersehn, daſs in dem Falle, wo die beiden Winkel L und M des Prisma's gleich sind, FG unter eben dem Winkel gegen das Einfallsloth geneigt hervorgehen wird, unter welchem AB gegen das Einfallsloth geneigt war; dann aber muſs auch nothwendig FG ein weiſser Lichtstrahl seyn, so gut wie AB es war, indem von dem Grade der Brechbarkeit dann nichts abhängt. In jedem andern Falle, wo $M = \alpha'$ von $L = \alpha$ verschieden ist, erhält man für die durch CF und FG mit dem Einfallslothe gebildete Winkel, die ich $= \varphi^{IV}$, φ^{V} nennen will, Werthe, die von μ abhängen, nämlich

$$\varphi^{IV} = \alpha' - \varphi''; \quad \text{Sin.}\, \varphi^{V} = \frac{1}{\mu}\, \text{Sin.}\, \varphi^{IV} = \frac{1}{\mu}\, \text{Sin.}\, (\alpha' - \varphi'')$$

statt daſs $\text{Sin.}\, \varphi = \frac{1}{\mu}\, \text{Sin.}\, (\alpha - \varphi'')$ war; hier findet also für FG eine Zerspaltung in Farbenstrahlen statt, und nur in diesem Falle erhält das Bild bei G einige Färbung. Bei F wird aber wieder ein Theil des Strahls reflectirt, dieser geht bei K nach der Richtung KP hervor und giebt ein farbiges Bild. Um dieses näher nachzuweisen, will ich nur den Fall betrachten, da alle Winkel des Prisma's $= 60°$ sind und die Brechung so geschieht, daſs der mittlere Farbenstrahl in BC gleiche Winkel mit beiden Seitenflächen macht, oder daſs $\varphi' = \varphi'' = 30°$ ist; offenbar macht dann auch CF an F einen Winkel $= 30°$ mit dem Einfallslothe, und eben das ist bei K der Fall. Hier wird aber der Strahl zerstreut, indem der stärker gebrochene Strahl bei B eine kleinere Neigung gegen das Einfallsloth hat, als der mittlere Strahl, bei C eine ebenso viel gröſsere, als bei F eine ebensoviel kleinere und bei K eine ebensoviel gröſsere; ist aber der violette Strahl um $\Delta\varphi$ mehr als der gelbe bei K gegen das Einfallsloth geneigt, so vermehrt

die ungleiche Brechung diesen Unterschied, und KP giebt ein eben solches Farbenbild, wie CD. So geht also in diesem Falle ein zweites, matteres, aber sonst dem ersten an Divergenz der Strahlen gleiches Farbenbild hervor, dagegen bei ungleichen Winkeln des Prisma's die Divergenz verschieden ausfallen wird, wie sich durch die Zeichnung der mittleren Strahlen ABCFKP und der äufsersten farbigen, die von B an in γc und δd oder in $f\varphi$, $\varkappa k$, πp zerstreut werden, noch genauer darstellen läfst.

Fig. 142.

Fallen zu gleicher Zeit parallele Sonnenstrahlen auf zwei Seiten des Prisma's, wie es im offenen Sonnenlichte der Fall ist, so verdoppelt sich die Anzahl dieser Bilder. Dann ist der einfallende Strahl GF mit AB parallel, und der erste nach TJ zurückgeworfene Strahl fällt beim gleichseitigen Prisma mit dem ersten farbigen Strahle CD parallel, wenn die Brechung des durch das Prisma gehenden Strahls am kleinsten ist, alsdann nämlich ist $ABN = 60° - GFN = DCM$, und da $MFJ = GFN$, so sind CD, FJ parallel.

Fig. 143.

An die Betrachtung dieser durch Zurückwerfung entstehenden Bilder knüpfen sich noch zwei Versuche, die man mit dem Prisma anstellen kann. Der erste zeigt, wenn man das Prisma so dreht, dafs in C gerade die Totalreflexion zu entstehn anfängt, dafs dann die violetten und blauen Strahlen eher, als die übrigen, in das durch Zurückwerfung entstehende Bild bei G übergehn, weshalb dann dieses Bild ein bläuliches Weifs zeigt, das in sehr helles Weifs übergeht, sobald endlich auch die gelben und rothen Strahlen die gänzliche Zurückwerfung erleiden.

Fig. 142.

Ein zweiter Versuch betriff den Farbenrand, der sich, wenn man Gegenstände durch das Prisma betrachtet, an der Grenze der durch Refraction sichtbaren Gegenstände zeigt. Legt man nämlich ein Prisma so vor sich hin, dafs die Kanten ungefähr senkrecht auf die Richtung sind, nach welcher zu man seinen Blick richtet, und läfst man durch ein offenes Fenster das Licht des hellen Himmels, am liebsten weifser Wolken, damit die Farbe keine Störung mache, auffallen, so wird man bei etwas höherer oder tieferer Stellung des Auges leicht die Grenze der totalen Reflexion gewahr, die durch einen blauen Bogen bezeichnet ist[1]. Dieser Bogen wendet seine violette

1 Newtoni Optice. Lib. I. Pars. II. Exper. 16. Phil. Transact. 1809. 266.

Seite dem Beobachter zu, daran gränzt ein dunkelblauer und dann ein hellblauer Bogen, vom Gelb und Roth ist aber nur zuweilen eine schwache Spur sichtbar. Diesseits des Violett erkennt man noch die unter dem Prisma liegenden Gegenstände, jenseits des Bogens, wo auch der Glanz des gespiegelten Himmels lebhafter ist und so die Totalreflexion sich zu erkennen giebt, bemerkt man selbst die lichtvollsten unter dem Prisma befindlichen Gegenstände nicht mehr. Wenn man die Lage des Prisma's so wählt, daſs nur die Hälfte des Raumes, den der blaue Bogen einnehmen sollte, Licht vom hellen Himmel empfängt, die andere Hälfte aber von einem ganz dunkeln Körper beschattet wird, so sieht man da, wo die Verlängerung jenes blauen Bogens hinfallen sollte, einen rothen Bogen, an den gegen den Beobachter zu ein gelber Bogen grenzt, beide wie auf dunkelm Grunde und daher, wenn die unter dem Prisma befindlichen Gegenstände nicht sehr hell erleuchtet sind, bei dieser Anordnung des Versuches unscheinbarer als der blaue Bogen. Die Ursache, warum dieser Bogen die Grenze der totalen Reflexion bezeichnet, läſst sich, was die wichtigsten Umstände betrifft, leicht einsehn. Das Auge in O erhält durch Zurückwerfung von der unteren Seite des Prisma's die Strahlen CD, AV, BR, und wenn diese von weiſsen Wolken her einfallen, so sieht das Auge diese Spiegelung auch in D, wo die Totalreflexion noch nicht statt findet. Hier indeſs erhält das Auge O auch noch durch den Strahl ED, der gebrochen nach O gelangt[1], Licht von dem Gegenstande E und man sieht in dem Spiegelbilde des hellen Himmels auch die unter dem Prisma liegenden Gegenstände. Ist nun VO derjenige Strahl, der, nach der Stärke der Brechung violetter Strahlen, der erste gänzlich reflectirte ist, so heiſst das, von einem Puncte W unter dem Prisma können zwar noch die rothen, gelben, grünen, blauen Strahlen durch Brechung in V zum Auge O gelangen, aber die violetten nicht mehr, und dagegen werden aus dem Strahle AV noch die rothen, gelben, grünen, blauen Strahlen nach T

Fig. 144.

---

1 Die Brechung in den Oberflächen LM, LN habe ich hier nicht erwähnt; man kann den Versuch so einrichten, daſs die Strahlen diese Oberflächen fast senkrecht treffen, dann sind diese Brechungen ganz unbedeutend.

durchgelassen, die violetten aber nach O reflectirt. Befindet sich unter dem Prisma in W ein weiſser Körper, so sollte das Auge O diesen gelb oder grünlich (als Mischung aller Farben, das Violett allein ausgeschlossen) sehn und nach eben der Richtung OV den gänzlich reflectirten violetten Strahl des hellen Himmels empfangen; in den meisten Fällen aber wird W gegen das starke Licht des hellen Himmels zu wenig lichtvoll seyn, daher sieht man bloſs das mit dem gewöhnlich reflectirten Strahle gemischte Violett des total reflectirten violetten Strahls und folglich eine violette Begrenzung des durch gewöhnliche Zurückwerfung sichtbaren Himmels. Da der Winkel, welchen Ob mit dem Einfallslothe macht, gröſser ist, als es für OV der Fall war, so werden in ihm nicht bloſs die violetten, sondern auch die blauen Strahlen zurückgeworfen, und da aus der Gegend W nur noch wenigere Farbenstrahlen nach O gelangen, so stören diese den Eindruck, den das an das Violett grenzende Blau macht, fast gar nicht. Endlich in OR erlangt der Strahl eine solche Neigung, daſs alle Farbenstrahlen zurückgeworfen werden und daher hier das aus allen Farben zusammengesetzte Weiſs in dem gänzlich zurückgeworfenen Strahle erscheint. So muſs also eine violette, blaue, hellblaue Begrenzung des gewöhnlich gespiegelten Bildes hervorgehn, da wo dieses lichtvoll genug ist, um mehr als die gebrochenen Strahlen auf das Auge zu wirken. Kämen dagegen die Linien CD, AV, BR von einem vollkommen lichtlosen, ganz dunkeln Gegenstande her, so sähe das Auge in der Richtung OD den Gegenstand E noch mit allen Farbenstrahlen, der Gegenstand W sendet die violetten Strahlen nicht mehr zum Auge, sondern diese gehn höher hinaufwärts, als wir die Stellung O des Auges angenommen haben, und ein weiſser Gegenstand in W erscheint gelblichgrün; dieses ist noch mehr der Fall mit dem Gegenstande, den das Auge O nach der Richtung Ob sieht, so daſs hier die Begrenzung der durch Brechung sichtbaren Gegenstände in Orange und Roth übergeht.

Hiermit ist die ganze Erscheinung erklärt bis auf den in gewissen Fällen den blauen Bogen noch auſserhalb umgebenden höchst blassen rothen Bogen. Herschel[1] erklärt diesen

1 Phil. Transact. 1809. p. 273.

aus den unvollkommen durchgelassenen, also durch eine Brechung bei R von den untern Gegenständen zum Auge gelangenden Strahlen. Diese Erklärung scheint mir ungenügend, da dort, wie ich glaube, der Theorie nach keine rothen Strahlen eindringen können und ich mich überdies auch durch Versuche überzeugt habe, daſs ein unter R liegender rother Gegenstand durchaus keinen verstärkenden Einfluſs auf die Erscheinung hat. Was aber eine bessere Erklärung betrifft, so muſs ich zuerst bemerken, daſs der rothe Bogen durchaus nicht wesentlich zu der Erscheinung gehört, sondern zuweilen ganz fehlt, weshalb mir die Frage, ob hier wirklich objectiv ein Uebermaſs rother Strahlen von R ausgeht, oder ob diese Farbe bloſs als subjective hervorgeht, gar nicht unangemessen scheint. Ich habe die Strahlen, welche in der Richtung RHO zum Auge kommen, mit Rücksicht auf ihre Farbenzerstreuung bei H genau berechnet, finde aber keinen Grund, warum die rothen in irgend merklichem Uebermaſse vorhanden seyn sollten. Denn obgleich der Strahl HO sich aus den innerhalb des Glases getrennten Strahlen, einem rothen RH, einem mehr gebrochenen violetten rH u. s. w. zusammensetzt, so könnte doch in dem ungleichen Einfallswinkel, in der ungleichen Absorption verschiedener Farbenstrahlen im reinen Glase und in ähnlichen Ursachen kaum ein Grund zum Vorherrschen der einen Farbe liegen. Sollte aber die Farbe nicht eine subjective seyn können? — Mehrere Umstände scheinen mir dieses anzudeuten. Man sieht den rothen Bogen nicht, wenn man das Prisma ruhn läſst, und auch mit möglichst ruhendem Auge auf den blauen Bogen sieht, wogegen er fast immer erscheint, wenn man das Prisma so bewegt, daſs das Weiſs des hellen Himmels in die Stelle jenes Blau tritt, oder der blaue Bogen gegen den nicht durch Totalreflexion erscheinenden Raum zurückgerückt wird, oder wenn man statt dessen das Auge auf eine entsprechende Weise seine Richtung ändern läſst. Ferner, wenn man durch Drehung des Prisma's den blauen Bogen so vor dem Auge vorbeiführt, daſs er in die Stelle des durch Totalreflexion sichtbaren Raums hinein vorrückt, so sieht man den rothen Bogen nicht. Endlich bei einer ganz andern Erscheinung kann man auch einen rothen Bogen erhalten, den man wohl sicher als nicht objectiv ansehn muſs, nämlich wenn man bei der ganz gewöhnlichen Brechung im Prisma die blaue Begrenzung eines

dunkeln Gegenstandes betrachtet und dann Prisma oder Auge gehörig die Stellung ändern läfst, so geht oft genug (aber auch nicht immer) ein ähnlicher rother Bogen hervor. Es scheint mir daher, dafs dieser rothe Bogen eine bloſse optische Täuschung ist, und ich empfehle diese Erklärung wenigstens zu näherer Prüfung.

Der ältere Herschel hat diese Bogen als Grundlage zur Erklärung der *Newton'schen Farbenringe* angewandt, aber gewiſs mit Unrecht. Richtig und interessant ist seine Bemerkung, daſs jener blaue Bogen im Prisma sich in eine schöne Reihe von Farbenstreifen zerlegt, wenn das Prisma auf einem ebenen Glase mit der die Strahlen reflectirenden Seite fest angedrückt aufliegt; aber diese zarten, sehr schönen Farbenstreifen müssen nach den Principien erklärt werden, wie die Newton'schen Farbenringe und können wohl nicht als das einfachere Phänomen angesehn werden, um aus ihnen die gesuchte Erklärung zu entnehmen.

Das achromatische Prisma.

Wenn ein Lichtstrahl aus dem Prisma in Farbenstrahlen zerlegt hervorgeht, so kann man durch ein zweites gleichartiges die Farbenzerstreuung wieder aufheben, wenn die Seiten AB, CD parallel sind, und beide Prismen sich in BC berühren; aber dann ist mit der Farbenzerstreuung auch die ganze Brechung aufgehoben. Sind dagegen jene beide Prismen nicht von ganz gleicher Art, bewirken sie vielmehr eine ungleiche Farbenzerstreuung, so ist es möglich, nach der Brechung durch beide, bei gehörig bestimmter Form derselben, einen weiſsen, farbenlosen und dennoch von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkten Strahl zu erhalten. Ein solches Prisma heiſst dann ein *achromatisches* oder *farbenfreies*.

Fig. 145.

Da wir nicht mehr als zwei Prismen anzuwenden pflegen, um den Achromatismus zu bewirken, so will ich auch hier keinen allgemeinern Fall betrachten. Es sey also LMN ein Prisma, dessen Brechungs-Index $= \mu$, MOP ein zweites, dessen Brechungs-Index $= \mu'$ und in Beziehung auf einen andern Farbenstrahl gehen diese Gröſsen in $\mu + \Delta\mu$, $m' + \Delta\mu'$ über.

Fig. 146.

Es sey ABCDEF der Weg des bei B, C, D, E gebrochenen

Strahls, der von C nach D durch die Luft zu der Fläche MO, die im Allgemeinen gegen MN geneigt seyn könnte, die ich aber im Folgenden, als mit MN parallel, annehme, übergeht; es sey $LNM = \alpha$, $OMP = \alpha'$, und die bei B gebildeten Winkel des Strahls mit dem Einfallslothe sollen φ und φ', bei C, φ'' und φ''', bei D, φ^{IV} und φ^{V}, bei E, φ^{VI} und φ^{VII} heifsen. Es erhellet sogleich, dafs $\varphi' + \varphi'' = \alpha$ ist, wenn die beiden Einfallslothe aufserhalb des Dreiecks NBC liegen, dafs $\varphi^{IV} = \varphi'''$ ist, wenn MO mit MN parallel und dafs $\varphi^{V} + \varphi^{VI} = \alpha'$. Ferner ist $\text{Sin.}\,\varphi' = \mu\,\text{Sin.}\,\varphi$, $\text{Sin.}\,\varphi'' = \mu\,\text{Sin.}\,\varphi'''$, $\text{Sin.}\,\varphi^{V} = \mu'\,\text{Sin.}\,\varphi'''$, $\text{Sin.}\,\varphi^{VI} = \mu'.\,\text{Sin.}\,\varphi^{VII}$.

Die hier zu beantwortende Frage ist nun die, wie mufs α' genommen werden, damit bei gegebnem Werthe von φ zwei ungleichfarbige Strahlen, die bei B einfallen, bei E parallel hervorgehn, oder damit, bei dem für diese Strahlen gegebnen Werthe von $\Delta\mu$ und $\Delta\mu'$, φ^{VII} keine Aenderung leide, wenn φ für beide einfallende Strahlen gleich, das heifst $\Delta\varphi = 0$ ist. Obgleich die Differenzen von μ und μ' hier nicht so überaus klein sind, so begnügt man sich doch, sie als Differentiale anzusehn, und es wird sich in einem nachher folgenden Beispiele zeigen, dafs dieses erlaubt ist, wenn dann $d\varphi = 0$ ist, so erhält man

$$d\varphi' = -d\varphi'' = \frac{d\mu\ \text{Sin.}\,\varphi}{\text{Cos.}\,\varphi'} = \frac{d\mu}{\mu}\,\text{Tang.}\,\varphi',$$

$$d\varphi''' = \frac{d\varphi''\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\mu\ \text{Cos.}\,\varphi'''} - \frac{d\mu\ \text{Sin.}\,\varphi''}{\mu^2\ \text{Cos.}\,\varphi'''}$$

$$= -\frac{d\mu}{\mu^2}\,\frac{\text{Sin.}\,\alpha}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi'''};$$

$$d\varphi^{V} = -\frac{\mu'.\,d\mu}{\mu^2}\,\frac{\text{Sin.}\,\alpha}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi^{V}} + \frac{d\mu'}{\mu}\,\text{Tang.}\,\varphi^{V};$$

$$d\varphi^{VII} = +\frac{d\mu}{\mu^2}\,\frac{\text{Sin.}\,\alpha.\ \text{Cos.}\,\varphi^{VI}}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi^{V}\ \text{Cos.}\,\varphi^{VII}}$$

$$-\frac{d\mu'}{\mu'^2}\,\frac{\text{Sin.}\,\alpha'}{\text{Cos.}\,\varphi^{V}\ \text{Cos.}\,\varphi^{VII}},$$

so dafs $\frac{d\mu}{\mu^2}\,\text{Sin.}\,\alpha\ \text{Cos.}\,\varphi^{VI} = +\frac{d\mu'}{\mu'^2}\,\text{Sin.}\,\alpha'\ \text{Cos.}\,\varphi'$ seyn mufs,

damit die Strahlen unzerstreuet hervorgehn. Da $\varphi^{VI} = \alpha' - \varphi^{V}$, und φ^{V} noch ohne α' zu kennen berechnet wird, so ist

$$\text{Tang.}\,\alpha' = -\frac{d\mu}{\mu^2}\left\{\frac{\text{Sin.}\,\alpha\ \ \text{Cos.}\,\varphi^{v}}{\frac{d\mu}{\mu^2}\,\text{Sin.}\,\alpha\ \text{Sin.}\,\varphi^{v} + \frac{d\mu'}{\mu'^2}\,\text{Cos.}\,\varphi'}\right\}$$

oder $\text{Cotang.}\,\alpha' = -\,\text{Tang.}\,\varphi^{v} + \frac{d\mu'.\,\mu^2}{d\mu.\,\mu'^2}\cdot\frac{\text{Cos.}\,\varphi'}{\text{Cos.}\,\varphi^{v}\ \text{Sin.}\,\alpha}.$

Wenn alle Winkel so klein sind, dafs man Sinus und Tangente mit den Bogen verwechseln, dann aber auch $\text{Sin.}\,\alpha.\ \text{Sin.}\,\varphi^{v}$ als ein sehr kleines Product weglassen kann, so erhält man aus der Formel für $\text{Tang.}\,\alpha'$,

$\alpha' = \frac{\alpha\,d.\,\frac{1}{\mu}}{d.\,\frac{1}{\mu'}}$ und in diesem Falle würde von dem in sehr enge Grenzen beschränkten φ nichts abhängen.

Sollte bei so kleinem Winkel aus Flintglas und Wasser eine Verbindung zweier Prismen zu einem achromatischen gebildet werden, so hätte man $d\frac{1}{\mu} = 0{,}0068$, $d.\frac{1}{\mu'} = 0{,}0213$, für rothe und violette Strahlen und mit $\alpha = 2^\circ$ würde $\alpha' = 38'\ 18'',6$ zusammengehören.

Um aber für gröfsere Winkel ein Beispiel zu geben, sey das erste Prisma ein Wasserprisma und $\alpha = 20^\circ$, das zweite ein Flintglasprisma; da es aber hier auf φ ankommt, so sey $\varphi = 15^\circ$, also da für die mittleren Strahlen $\frac{1}{\mu} = 1{,}33548$; $\varphi' = 11^\circ\ 10'\ 30''$; $\varphi'' = 8^\circ\ 49'\ 30''$; $\varphi''' = 11^\circ\ 49'\ 22''$; $\frac{1}{\mu'} = 1{,}64138$; $\varphi^{v} = 7^\circ\ 10'\ 15''$, findet man $\alpha' = 6^\circ\ 24'$.

Für den rothen und violetten Strahl findet man: $\varphi = 15^\circ$;

$$\varphi' = \begin{cases} 11^\circ\ 12'\ 13''. \\ 11\ \ \ 8\ \ 45. \end{cases},\quad \varphi'' = \begin{cases} 8\ 47\ 47, \\ 8\ 51\ 15 \end{cases},$$

$$\varphi^{v} = \begin{cases} 7^\circ\ 10'\ 34'', \\ 7\ \ \ 9\ \ 59. \end{cases}\quad \varphi^{vi} = \begin{cases} -\ 0\ 46\ 34. \\ -\ 0\ 45\ 57. \end{cases}$$

$$\varphi^{vii} = \begin{cases} 1^\circ\ 15'\ 57'', \\ 1^\circ\ 15'\ 55''. \end{cases}$$

Die Vereinigung der äufsersten Strahlen ist also fast vollkom-

men; es ist aber hierbei zu bemerken, dafs $\alpha' = \alpha \frac{d\frac{1}{\mu}}{d\frac{1}{\mu'}}$
6° 23′ 6″ gegeben hätte, so dafs jene genauere Rechnung selbst hier beinahe erspart werden konnte.

Wenn man kein völlig genau die Farbenzerstreuung compensirendes zweites Prisma besäfse, so könnte man dadurch, dafs man den Winkel NMO $= \beta$ nicht mehr $= 0$ annähme, die Aufhebung der Farbenzerstreuung bewirken, und indem man die Winkel α, α' und β genau kannte, die Gröfse der die Farbenzerstreuung bewirkenden Aenderungen von μ und μ' bestimmen; indefs da man andere Mittel hat, die Farbenzerstreuung für jede der beiden Substanzen genau zu bestimmen, ohne dafs es dazu der Combination zweier Prismen bedarf, so will ich dabei nicht verweilen[1].

Zur Geschichte des Prisma's

würde ich kaum etwas zu bemerken nöthig finden, wenn nicht das wenig bekannte Buch von Marcus Marci hier erwähnt zu werden verdiente. In Gebrauch ist auch früher schon das Prisma gewesen, und soll, nach den von Priestley angeführten Nachrichten wegen seiner Farben sehr theuer verkauft seyn. Theodorich, von dessen Buch Venturi Nachricht giebt[2], hat sich um die prismatischen Farben hervorzubringen, sechseckiger Krystalle bedient, aber ganz vorzuglich viel hat Marcus Marci sich mit dem Prisma beschäftigt, und schwerlich ist vor Newton irgend eine Untersuchung über das

1 Rochon hat unter dem Namen *Diasporometer* ein Instrument angegeben, vermittelst dessen die zur Herstellung des Achromatismus geeigneten Winkel zweier Prismen von verschiedenem Glase gemessen werden. Es besteht aus einer Art von Fernrohr, welches statt der Objectivlinse zwei zu runden Gläsern geschliffenen Prismen enthält, deren vorderes um die gemeinschaftliche Axe des Fernrohrs und der beiden Prismen gedreht werden kann, bis die pafslichsten Winkel beider gefunden sind. S. Rochon Recueil de Mémoires sur la mécanique et la physique. Mém. sur la mesure de la dispersion et de la réfraction.

2 Vergl. Art. *Regenbogen* und Ann. de Ch. et Ph. VI. 141.

prismatische Farbenbild mit mehr Fleifs ausgeführt, als die von MARCUS MARCI[1]. Nach MONTUCLA's Angabe[2] sollte man glauben, MARCI habe die Entdeckungen NEWTON's schon 20 Jahre vor diesem gemacht; aber dies ist eine ganz unrichtige Ansicht. MARCI hat allerdings die Erscheinungen, welche das gleichseitige Prisma im vollen Sonnenlichte (nicht im finstern Zimmer) darbietet, gut beschrieben; er hat die Bilder, welche durch Spiegelung an der Rückseite entstehn, von denen, die durch bloſse Brechung entstehn, unterschieden, und den Grund, warum jene ohne Farben sind und warum diese sich in verzerrter Form zeigen, gut angeben; aber den eigentlichen Ursprung der Farben im prismatischen Farbenbilde hat er nicht gefunden. Wenn man die Theoreme flüchtig ansieht, so sollte man freilich glauben, daſs seine Ansichten richtiger wären, aber bei genauerer Prüfung verschwindet diese Meinung. Er sagt z. B. im 12. Theorem, nur bei bestimmter Brechung werde das Licht in Farben verwandelt und die verschiedenen Farben sind die Erfolge verschiedener Brechungen, aber sein Beweis hiefür (weitläuftig unterbrochen durch die Widerlegung fremder Meinungen) ist folgender. Die Farbe wird durch Condensation in andere Farben verändert; das Licht der Sonne ist seiner Natur nach Farbe (denn kein Licht ist ohne irgend eine Farbe), also ist es auch jener Veränderung bei der Verdichtung unterworfen. Verdichtet aber wird es bei der Brechung, denn die Brechung geschieht bei dem Uebergange aus Luft in ein dichteres Medium, wo in gleichem Volumen mehr materielle Theile enthalten sind, also auch mehr Licht. Das Licht wird bei der Refraction in einen engern Raum gebracht und da die Condensation des Lichts die Farben, sowohl der Art, als der Intensität nach, ändert, so folgt, daſs diversae lucis refractiones causabunt colores diversos.

Ebenso scheint das 18. Theorem ein Newton'sches zu seyn. Es entseht bei einerlei Medium dieselbe Farbe nicht durch eine verschiedene Refraction und nicht aus derselben Refraction verschiedene Farben. Aber auch hier sind bloſs ebenso unbe-

---

1 Der Titel seines 1648 zu Prag gedruckten Buches ist: Thaumantias, Liber de arcu coelesti, deque colorum apparentium natura ortu et causis. Auctore Joanne Marco Marci, Med. Dr. et Prof.

2 Hist. des math. II. 517.

stimmte Behauptungen statt des strengen Beweises angeführt; die affectio lucis werde durch die Refractionswinkel bestimmt, ungleiche Winkel geben daher ungleiche Farben, denn wenn einerlei Farbe aus ungleicher Refraction hervorginge, so wäre sie mehr oder minder vollkommen. Im 19. und 20. Theorem wird gesagt, eine hinzukommende Reflexion und Refraction ändere die Art der Farbe nicht, aber im 28. Theor. wird dennoch demonstrirt, die Entstehung der Farben werde in der ersten Refraction nicht vollendet. Dieses letztere wird sehr unrichtig dadurch bewiesen, dafs im vierseitigen Prisma der durch die zweite, mit der Eintrittsfläche parallele Seitenfläche hervorgehende Strahl ungefärbt erscheint. Er giebt hiefür zwar den nicht unpassenden Grund an, die zweite Refraction verdünne den durch die erstere verdichteten Strahl, aber dennoch sieht er den Schlufs als gewifs an, dafs die Entstehung der Farbe erst bei der zweiten (unter gehörigem Winkel geschehenden) Brechung vollständig werde. In dem folgenden Theorem sagt er, auch die zweite Brechung für sich allein vollende nicht die Farben-Erzeugung. Er bezieht sich da auf ein Experiment, das er schwerlich so kann angestellt haben, indem sich da Farben hätten zeigen müssen. Wenn das Prisma durch eine gegen die eine Seitenfläche Senkrechte durchschnitten werde, so müfste, (wenn die erste Refraction unnöthig wäre,) der nun senkrecht durch die erste Oberfläche eindringende Strahl eben die Farben beim Hervordringen geben, das sey aber gegen die Erfahrung; „si quidem nullos omnino colores tum observamus.“ Also ein Prisma, dessen Winkel = 90°, 60°, 30° sind, soll, wenn der Lichtstrahl die eine Seite senkrecht, die zweite Seite unter 30° Einfallswinkel trifft, keine Farben geben; — man kann kaum glauben, dafs das ein wirklich angestellter Versuch sey.

Wie Marci sich eigentlich die Entstehung der Farben gedacht habe, geht aus seinen vielen und sorgfältigen Rechnungen, bei denen er die jedem Einfallswinkel entsprechende Brechung als bekannt voraussetzt [1], nicht ganz deutlich hervor, er scheint aber in dem ungleichen Winkel, den die von ei-

---

1 In seiner Tafel ist das Brechungsverhältnifs ungefähr bei dem Einfallswinkel = 10°, = 1,32, bei 30°, = 1,30, bei 60°, = 1,25, bei 70°, = 1,17.

nem und vom andern Sonnenrande ausgehenden Strahlen mit dem Einfallslothe machen, den Hauptgrund der Ungleichheit, daſs nämlich das Spectrum am einen Rande roth, am andern violett ist, zu suchen. Das Licht wird Farbe durch Verdichtung; der purpurne Strahl geht durch Condensation der übrigen Farben hervor, also aus einem gerader einfallenden (magis recto) Strahle; der rothe Strahl (puniceus), als dem Lichte mehr verwandt, aus einem mehr geneigten [1]. Wenn nämlich das Prisma seinen brechenden Winkel ziemlich nach oben gekehrt hat, so ist das Farbenbild, welches die Sonne darstellt, oben roth, unten violett; jenes Roth geht also da hervor, wo vom untern Sonnenrande der Strahl unter einem etwas gröſsern Einfallswinkel auffällt, als der vom oberen Sonnenrande kommende, der den violetten Rand hervorzubringen scheint. Versuche im finstern Zimmer, (wie Montucla [2] irgendwo gelesen hat,) scheint Marci gar nicht angestellt zu haben, wenigstens habe ich in dem bedeutenden Theile des Buchs, den ich gelesen habe, nichts gefunden, das dahin deutete; alles scheint nur auf Versuche im vollen Tageslichte zu gehn.

Dies mag genug seyn von einem Buche, das für jene Zeit merkwürdig genug ist, aber doch den Gedanken, als lieſsen sich darin ähnliche Schlüsse finden, wie die von Newton, keineswegs rechtfertigt; ich hätte mich nicht so lange dabei aufgehalten, wenn nicht Montucla dem Buche mehr Werth beigelegt hätte, als ich gerechtfertigt finde [3].

Daſs das Sonnenbild durch das Prisma verlängert erscheine, hat Grimaldi schon bemerkt, aber keine weitern Schlüsse darauf gebaut. Newton's Untersuchungen zeigten bald nachher vollständig alles das, was oben angeführt ist, so daſs spä-

---

1 p. 111. 112.

2 *Montucla* beruft sich auf *Klügel's* Anm. zu Priestley's Gesch. d. Optik, wo ich aber nichts finde. Im *Marci* selbst habe ich aber bei wiederholtem Nachsuchen einen solchen Versuch, wie *Montucla* beschreibt, nirgends finden können. Ich vermuthe, daſs das 20. Theor. refractio superveniens radio colorato non mutat speciem coloris, — Anlaſs zu der Behauptung, M. habe ein solches Experiment angestellt, gegeben hat, aber dieses Theorem enthält etwas ganz anderes.

3 Vgl. auch Art. *Regenbogen* in dem Abschn. Geschichte d. Meinungen etc.

ter nur die Verbindung zweier Prismen zu einem achromatischen hinzugekommen ist und die Lehre vom Prisma nur unbedeutende einzelne Bereicherungen erhalten hat.

B.

Pumpe.

Plumpe; *Antlia;* Pompe; *Pump.*

Pumpen heifsen im Allgemeinen diejenigen Maschinen, mit denen man vermittelst beweglicher Kolben in Stiefeln Flüssigkeiten sowohl hebt als auch drückt, um sie in Bewegung zu setzen und von einem Orte zum andern fortzuschaffen. Indem es aber zwei verschiedene Arten von Flüssigkeiten giebt, nämlich expansibele und tropfbare, als deren Repräsentanten man die Luft und das Wasser betrachten kann, so giebt es auch zwei Hauptarten von Pumpen, *Luftpumpen* und *Wasserpumpen,* wovon die erstern auf gleiche Weise für anderweitige Gasarten, als die letztern für sonstige tropfbare Flüssigkeiten in Anwendung kommen können. Die Luftpumpen gehören unter die wesentlichsten und gebräuchlichsten physikalischen Werkzeuge, und sind daher bereits ausführlich beschrieben[1], die Wasserpumpen dagegen beruhen auf sehr einfachen physikalischen Gesetzen und gehören zunächst in das Gebiet der Technologie oder der praktischen Maschinenlehre wegen des vielfachen Gebrauchs, den man in der Technik und Oekonomie von ihnen macht. Weil aber unser Werk auch von sonstigen Gegenständen der Mechanik ziemlich ausführlich handelt, so halte ich es für zweckmäfsig, eine etwas vollständigere Uebersicht der verschiednen Arten von Pumpen mitzutheilen, womit zugleich eine Angabe sonstiger zur Hebung und Förderung des Wassers dienender, den Pumpen verwandter Maschinen verbunden werden möge. Uebrigens verdienen die verschiedenen Bezeichnungen derselben, die meistens von den durch sie gehobenen Flüssigkeiten entlehnt sind, und wonach es hauptsächlich auch *Bierpumpen*, *Branntweinpumpen*, *Oelpumpen, Milchpumpen* (zum Entleeren der weiblichen Brüste) und andere giebt, nicht besonders berücksichtigt

1 S. Th. VI. Abth. 1.

zu werden, weil sie im Wesentlichen ihrer Construction von gewöhnlichen Saug- oder Druckpumpen nicht abweichen.

Die Pumpen sind im Ganzen zwar einfach, aber zugleich auch sinnreich construirte Maschinen, die zwischen den einfachsten und den künstlichsten Wasserhebemaschinen ungefähr in der Mitte stehn. Unter die einfachsten gehören die bloſsen Schöpfer oder kleinen, mit einer Handhabe versehenen Zuber und die Eimer, die man bei gröſserer Tiefe des Wassers vermittelst eines Hakens an einer Stange oder an einem Seile herabläſst und gefüllt wieder heraufzieht. Zur Erleichterung pflegt man die Stange an dem längern Arme eines Waagebalkens (der sogenannten Wippe) zu befestigen, dessen kürzerer Arm mit bedeutenden Gewichten versehn ist, so daſs man die zum Heben des Eimers erforderliche Kraft vermindert, indem man sie auf die beiden Operationen des Niederdrückens und Aufhebens der Stange vertheilt. Bei noch gröſserer Tiefe des Wasserstandes pflegt man zwei Eimer an einer Kette über eine Rolle herabzulassen, welche abwechselnd auf- und niedersteigen; in einigen Fällen wickelt man diese Kette um eine horizontale Welle und bewegt diese vermittelst einer Kurbel oder selbst eines Tretraëders, wenn vieles Wasser, wie z. B. in Festungen, aus groſsen Tiefen gehoben werden soll. Alle diese und ähnliche Vorrichtungen lassen sich leicht auf die einfachsten mechanischen Gesetze zurückführen.

Es giebt dreierlei Arten von Pumpen: Saugpumpen, Druckpumpen und vereinigte Saug- und Druckpumpen. Am gebräuchlichsten unter diesen sind die erstern, die *Saugpumpen* (*Antlica suctoria; Pompe aspirante; Sucking pump*), deren Gebrauch sehr alt ist, indem sie zuverlässig schon dem Heron von Alexandrien (210 v. C. G.) bekannt waren. Das Wesentliche ihrer einfachen Construction besteht in Folgendem. Das Rohr BCHG wird mit seinem untern Ende OPHG ins Wasser gesenkt. Am untern Theile ist dasselbe mit vielen kleinen Löchern versehn, damit das Wasser durch diese eindringen kann, ohne etwa vorhandnen Schmuz mit sich zu führen; noch besser ist es aber, diese Röhren, hauptsächlich wenn sie von Holz sind, mit einem fein durchlöcherten kupfernen Seiher zu umgeben. An einer willkürlichen Stelle dieser Röhre, jedoch weniger als 32 par. F. über dem Wasserspiegel und bei weitem am besten unter dem Wasserspiegel selbst, befindet

Fig. 147.

sich das eine nach oben sich öffnende Ventil. Auf diese Röhre wird eine andere ABCD gesetzt, welche jedoch auch selbst bei hölzernen Brunnenstöcken am besten so weit von Kupfer gemacht wird, als das Spiel des Kolbens reicht. Letzterer JK ist gleichfalls mit einem nach oben sich öffnenden Ventile versehn und an der Stange L befestigt, die vermittelst des Schwengels auf- und abwärts gezogen wird. Das Spiel dieser Maschine ist höchst einfach. Angenommen, das Wasser stehe im Rohre nur bis zur Höhe des Spiegels OP, so muſs die in demselben befindliche Luft beim Heben des Embolus JK verdünnt werden, mithin gegen die Wasserfläche OP einen geringern Druck ausüben, als die atmosphärische Luft gegen die Fläche des äuſsern Wassers äuſsert, weswegen die innere Wassersäule hierdurch in die Höhe gehoben wird. Das untere Ventil, in welcher Höhe es sich befindet, hat zwar die von unten herauf drückende Luft durchgelassen, verstattet ihr aber den Rückgang nicht, wenn man den Embolus wieder herabdrückt, wobei die zwischen beiden Ventilen befindliche Luft durch das obere entweicht. Durch Wiederholung dieser Operation muſs also das Wasser stets höher steigen und zuletzt das obere Ventil erreichen, wenn dieses nicht höher über dem untern Wasserspiegel angebracht ist, als der ganze atmosphärische Luftdruck das Wasser zu heben vermag, denn im Innern der Röhre kann auf keine Weise mehr als ein vollkommenes Vacuum existiren, mithin die äuſsere Wasserfläche nur durch einen einzigen atmosphärischen Druck emporgetrieben werden, was eine Höhe von 31,7 par. Fuſs für 28 Z. Barometerstand giebt[1]. Man wird jedoch allezeit beträchtlich unter dieser Höhe bleiben, weil der Barometerstand unter 28 Zoll herabsinkt, das durch Aufsaugen gehobene Wasser Luft und Dämpfe entwickelt und die Ventile wohl nie absolut dicht schlieſsen, meistens einen schädlichen Raum zwischen sich lassen und das obere Ventil durch die zu sehr verdünnte Luft gar nicht mehr gehoben werden könnte. Auch bei einer sehr vollendeten Ausführung des Mechanismus wird man nicht wohl über 28 par. Fuſs hinausgehn dürfen[2]. Daſs man übrigens die

1 Vergl. *Aërostatik*. Bd. I. S. 265.

2 Nach F. J. v. Gerstner Handbuch d. Mechanik Bd. II. S. 121. beträgt die übliche Höhe 24 österr. Fuſs.

Kolbenstange L mit der Hand oder vermittelst eines ungleicharmigen Hebels bewegen könne, verdient nur beiläufig erwähnt zu werden; am vortheilhaftesten sind die gemeinen, unten mit einem schweren Gewichte belasteten Brunnenschwengel, die pendelartig hin und her geschwungen werden.

Da in sehr vielen Fällen das Wasser höher als bis 28 F. gehoben werden mufs und auch diese Höhe schon eine vorzügliche Genauigkeit des Mechanismus erfordert, so verfährt man sichrer, wenn man das obere Ventil tiefer herabsenkt, weil hierdurch ohnehin die zu überwindende Last um nicht mehr vergröfsert wird, als das Gewicht der hiernach erforderlichen Verlängerung der Kolbenstange beträgt. Insbesondere mufs der schädliche Raum berücksichtigt werden, welcher sehr leicht zwischen und in beiden Ventilen vorhanden ist. Wäre z. B. das Wasser bereits bis 16 par. Fufs gehoben und würde die unter dem obern Ventile befindliche Luft durch das Aufziehn des Kolbens nicht stärker als bis zur Hälfte verdünnt, beim Niedergange desselben aber wieder bis zur Dichtigkeit der atmosphärischen Luft gebracht, so würde das fortgesetzte Kolbenspiel ein vergebliches seyn, weil der Druck einer 16 F. hohen Wassersäule und der bis zur Hälfte verdünnten atmosphärischen Luft im Innern der Röhre dem Drucke der ganzen Atmosphäre aufserhalb derselben das Gleichgewicht halten. Dieser schädliche Raum wird am besten vermieden, wenn der herabgehende Embolus dem untern Ventile möglichst nahe kommt. Am sichersten ist es jedoch, die Kolbenstange zu verlängern und das Wasser mehr durch Hebung als durch Saugen in die Höhe zu fördern, denn wenn der Kolben und dessen Stange hinlänglich stark sind und die erforderliche Kraft angewandt wird, so kann hierdurch das Wasser zu jeder beliebigen Höhe gehoben werden. Bei sehr tiefen Brunnen und den Bohrlöchern der Salinen geschieht dieses auch wirklich bis zu 500 und mehr Fufs Höhe, in den Bergwerken dagegen bringt man mehrere Saugpumpen über einander an, die den Namen *Kunstsätze* erhalten und von denen jede folgende dasjenige Wasser aus einem eigenen Kasten in die Höhe fördert, was die nächst niedrigere in diesen ausgegossen hat. Es gewährt dieses in den Fällen, wenn die Röhren ohnehin von Holz gemacht werden, den Vortheil, dafs nicht die Last der ganzen Wassersäule gegen die tiefsten Theile der Röhre drückt und dafs man gleich-

zeitig auch das in ungleichen Höhen sich ansammelnde Wasser in die geeigneten Kasten leitet, um es mit dem aus grössern Tiefen vereint wegzuschaffen, ohne es zuvor bis zum tiefsten Puncte herabfliessen zu lassen.

Beim Niedergehn des Embolus wird kein Wasser gehoben und der Ausfluss desselben müsste also während dieser Zeit aufhören. Indess ist die Ausflussöffnung in der Regel so klein, dass das Wasser im Pumpenstocke bis zu einiger Höhe über dieselbe gehoben wird und daher ein anhaltendes Ausfliessen, jedoch in ungleicher Menge, statt findet. Ausserdem pflegt man zuweilen in der Höhe der Ausflussöffnung einen weitern Behälter anzubringen, in welchem sich das Wasser sammelt und aus ihm dann in fast gleichbleibender Menge abfliesst. Die Menge des gehobnen Wassers läfst sich hiernach leicht finden, indem sie dem Kubikinhalte eines Wassercylinders gleich ist, welchen man erhält, wenn man den Querschnitt des Stiefels, worin sich der Embolus bewegt, mit der Höhe seines Hubes multiplicirt und das Product durch die Zahl der Kolbenhube in einer gegebnen Zeit vervielfacht, wobei jedoch auf einigen Verlust wegen mangelhaften Schliessens der Maschinentheile gerechnet werden muss. Ist die Kraft zu finden, welche erfordert wird, um vermittelst des Kolbens das Wasser zu heben, so darf man nur berücksichtigen, dass auf die obere Fläche des Embolus die gesammte über ihm stehende Wassersäule bis zur Ausflussmündung (wenn das Wasser nur bis zu dieser steigt) und die atmosphärische Luft drückt, letztere aber zugleich auch auf den äusseren Wasserspiegel oder, was einerlei ist, gegen die untere Fläche desselben. Diese beiden gleichen Grössen würden sich einander aufheben, wenn nicht der äussere Druck um soviel vermindert würde, als das Gewicht der durch Saugen gehobenen Wassersäule beträgt, welche Grösse daher der zu hebenden Last hinzuaddirt werden muss. Man kann demnach, wie es gewöhnlich geschieht, entweder beide entgegenstehende Grössen addiren, oder einfacher nur die Differenz beider, die durch die untere Wassersäule gegeben ist, hinzuaddiren. Indem aber der hydrostatische Druck des Wassers der Basis multiplicirt mit der Höhe gleich ist, so sey die Höhe der Wassersäule unter dem Embolus $= h'$, über demselben $= h$, der Halbmesser des Embolus $= r$, und dann ist die zum Heben erforderliche Kraft $K = r^2\pi(h + h')$

oder, wenn $h + h' = H$ gesetzt wird, $K = r^2 \pi H$. Hierzu mufs dann noch das Gewicht des Kolbens und der Stange, desgleichen der Reibungs-Coefficient addirt werden, wenn man das Trägheitsmoment des in Bewegung zu setzenden Wassers und der Maschinentheile, desgleichen den Widerstand durch die Adhäsion des Wassers an die Wandungen der Pumpenstöcke vernachlässigt[1]. Beim Herabgehn ist blofs die Reibung des Embolus und der Widerstand des durch das obere Ventil dringenden Wassers zu überwinden, welche jedoch bei hohen Pumpenstöcken durch das Gewicht des Embolus und hauptsächlich der Kolbenstange bei weitem überwogen werden. Bei gemeinen Pumpbrunnen vernachlässigt man diese Ungleichheit der beim Aufgange und Niedergange des Kolbens erforderlichen Kraftäufserung, sollen die Pumpen aber insbesondere durch Maschinen mit stets gleichbleibendem Kraftaufwande betrieben werden, so wird zum Heben ein Hülfsgewicht, meistens ein Kasten mit Steinen, angewandt, dessen Gewicht die Hälfte der zu hebenden Last beträgt, so dafs bei ungefähr gleicher Reibung beim Auf- und Niedergange des Kolbens stets die Hälfte der ganzen zu wältigenden Last überwunden wird. Indem aber endlich die erforderliche Kraft dem Flächeninhalte des Querschnitts durch die Axe des Embolus multiplicirt mit der Höhe der zu hebenden Wassersäule proportional ist und mit Rücksicht auf die aufzuwendende Zeit mit der Höhe, bis wohin der Embolus gehoben wird, und der Zahl der Hebungen in einem gegebenen Zeitraume wächst, die Menge des gehobenen Wassers aber gleichfalls dem Flächeninhalte jenes Querschnitts, desgleichen der Höhe und Anzahl der Hube in einer gegebenen Zeit proportional ist, so folgt, dafs bei gleichen Hebungshöhen die Menge des geförderten Wassers dem erforderlichen Kraftaufwande proportional seyn mufs und, wenn dieses nicht statt findet, eine fehlerhafte Construction der Maschinentheile als Ursache hiervon erscheinen kann[2].

---

1 Vergl. Parent Recherches de physique et de math. Par. 1700. Belidor Architect. Hydr. L. III. ch. 3. §. 919 ff. Karsten Lehrbegriff d. ges. Math. Bd. V. Unten wird noch ein in Zahlen berechnetes Beispiel mitgetheilt werden.

2 Die von Brisson im Dict. rais. de Phys. Art. *Pompe aspirante* mitgetheilte und daraus von Gehler Bd. III. S. 797. aufgenommene Er-

Von den Druckpumpen, den einfachen und den mit einem Saugwerke verbundenen, ist bereits in einem eigenen Artikel gehandelt[1] und ich füge daher nur noch die Beschreibung eigenthümlich construirter Saugpumpen hinzu, die auch mit dem besondern Namen *Hebungspumpen* (*lifting pump*) von den Engländern bezeichnet werden und bei gröſsern Anlagen sehr gebräuchlich seyn sollen[2]. Sie bestehn aus einem Stiefel ABCD, in dessen oberem Ende sich das Ventil E befindet, unter welchem der gleichfalls mit einem Ventile versehene Kolben F an der Stange Z beweglich ist. Diese Kolbenstange ruht auf einem Querbalken XY und wird vermittelst der zwei, bei T in eine vereinigten Stangen gehoben und niedergedrückt. Das etwas seitwärts gekrümmte und dann vertical aufsteigende Steigrohr CAV wird durch den bloſsen Anblick der Figur klar, ebenso wie der ganze Mechanismus der Maschine, welcher sich im Wesentlichen von dem gewöhnlichen nur dadurch unterscheidet, daſs bei ihm das untere Ventil durch Umkehrung der Lage des Embolus beweglich ist. Man bringt ebendenselben auch bei der vereinten Saug- und Druckpumpe in Anwendung, welche Construction aus der bloſsen Ansicht der Zeichnung vollkommen deutlich wird. Bei dieser ist der Embolus ohne Ventil, wie bei den Druckpumpen allgemein; auch geht aus den Krümmungen der Röhren beider beschriebener Pumpen hervor, daſs dieselben von Guſseisen verfertigt sind, indem man gegenwärtig bei neuen Anlagen schwerlich andere wählen wird, weswegen auch die Art ihrer Zusammenfügung in der Zeichnung angedeutet ist.

Fig. 148.

Fig. 149.

Die hier mitgetheilten einfachen Constructionen lassen sich auf so vielfache Weise abändern und mit einander verbinden,

---

zählung, daſs eine Pumpe in Spanien durch bloſses Saugen Wasser über 32 par. F. hoch gehoben habe, glaube ich nur gelegentlich erwähnen zu dürfen. Das ganze Problem kommt darauf hinaus, daſs eine theilweise aus Luft und Wasser bestehende Säule allerdings auf eine solche Höhe gehoben wurde, und ist der oft vorkommenden Erscheinung ähnlich, daſs das Wasser in den Schenkeln communicirender Röhren eine ungleiche Höhe erreicht, wenn sich in dem einen abwechselnde Schichten Luft und Wasser befinden, in dem andern aber eine nicht unterbrochene Wassersäule.

1 Art. *Druckpumpe*. Bd. II. S. 622 ff.

2 Robison Mechanical philosophy. T. II. p. 651.

dafs nach Robison's Urtheil die Beschreibung aller einzelnen einen ganzen Band füllen würde. Es wird daher, insbesondere hier, genügen, blofs einige wenige Modificationen namhaft zu machen. Bei den Druckpumpen kann auf eine ähnliche Weise, als dieses bei den hydraulischen Pressen zur Erhaltung einer gröfseren Gewalt geschieht, der Embolus durch einen Cylinder ersetzt werden, welcher sich in einer Stopfbüchse wasserdicht bewegt. Zur leichtern Uebersicht dieser Einrichtung sey OPQ dieser genau abgedrehte Cylinder, M das eine, N das andere Ventil und DC die Stopfbüchse. Letztere ist wesentlich und wird so construirt, dafs das obere Ende des Pumpenstocks mit einem hervorstehenden Rande versehn ist, um vermittelst durchgehender Schrauben die Theile der Stopfbüchse festzuschrauben. Auf den hierdurch gegebenen flachen Ring werden zwei Lederscheiben gelegt, welche in einer Mischung aus gleichen Theilen Oel und Unschlitt nebst etwas wenigem Geigenharz getränkt und in der Mitte genau rund durchbohrt sind. Durch die Oeffnung wird der Cylinder mit Gewalt geprefst, so dafs die Ränder der Lederscheiben sich herabwärts biegen, dann wird ein metallener Ring, welcher bequem über den Cylinder herabgeht, darauf gelegt, über diesen abermals zwei gleiche Lederscheiben, deren Ränder beim Herabschieben derselben über den Cylinder von oben her sich aufwärts biegen, und über diese wird der obere Ring gelegt, welcher mit Oeffnungen versehn ist, um vermittelst hindurchgesteckter Schrauben die Lederscheiben festzupressen, wodurch dann ein vollständig wasserdichter Verschlufs erzeugt wird. Diese Vorrichtung, die durch Samuel Morland erfunden worden seyn soll[1], ist ungleich dauerhafter und sicherer, als die Anwendung eines gewöhnlichen Embolus, und kann auch so modificirt werden, dafs der Cylinder von unten nach aufwärts oder in horizontaler Richtung bewegt wird. Statt der Lederscheiben kann auch Hanf mit gleicher oder wohl noch gröfserer Sicherheit zur Liederung benutzt werden. Es wird nämlich der Stiefel an seinem obern Ende bei d d inwendig so ausgedreht, dafs der hervorstehende Theil eine schräge Fläche bildet. Der Cylinder A wird dann mit Hanf, in Unschlitt mit Oel zu gleichen Theilen und etwas Colophonium getränkt, umwickelt, in

Fig. 150.

Fig. 151.

1 Robison Mech. Phil. T. II. p. 667.

den Stiefel gesteckt und eine Büchse, die sich willig über ihm bewegt, unten aber gleichfalls schräg ausgedreht ist, darüber geschoben. An ihrem obern Rande ist diese Büchse mn mit einem Ringe versehn, welchen man vermittelst einiger Schrauben auf dem hervorstehenden Rande op des Stiefels festschrauben kann. Werden diese Schrauben angezogen, so bildet der um den Cylinder gelegte Hanf in der gebildeten Vertiefung einen Wulst bc um den Cylinder, in welchem er luft- und wasserdicht auf- und abwärts bewegt werden kann.

Aehnliche, aber lange Cylinder lassen sich auch so einrichten, dafs sie sich ohne Reibung bewegen und das Wasser durch ihr blofses Einsenken heben, wie bei der oben Bd. II. S. 628. beschriebenen Pumpe geschieht; allein vermittelst solcher Maschinen kann das Wasser nur bis zu geringen Höhen gehoben werden, und die Reibung ist bei guter Arbeit nicht so bedeutend, dafs man sie bei solchen Anlagen ganz zu vermeiden sich bemühn sollte. Eine höcht einfache, aber nicht dauerhafte Pumpe mit sehr geringer oder fast gar keiner Reibung besteht aus einer Röhre von willkürlicher Weite und einem am untern Ende unter dem Wasser angebrachten Ventile. In dieser Röhre ist ein cylindrischer Stab auf- und abwärts beweglich, auf dessen Grundfläche in der Mitte eine runde lederne Scheibe von angemessenem Flächeninhalte festgeschraubt wird. An dem Rande der Scheibe sind einige Fäden befestigt, deren Enden an der Stange in der erforderlichen Höhe auf eine solche Weise festgeknüpft sind, dafs die aufwärts gezogene Scheibe einen abgekürzten Kegel bildet. Zieht man die Stange aufwärts, so entfaltet sich die Scheibe, legt sich an den innern Raum der Röhre und der über ihr befindliche Wassercylinder wird gehoben, drückt man dagegen die Stange herab, so faltet sich die Scheibe zusammen, läfst das Wasser neben ihrem Rande vorbei und durch den Wechsel dieser Bewegungen kann das Wasser in die Höhe gefördert werden.

Robison theilt die Beschreibung einer Pumpe ohne Reibung mit, welche der von Gosset und de la Deuille nach der Angabe von Belidor[1] sehr ähnlich und zur Hebung einer grofsen Menge von Wasser auf eine geringe Höhe ausnehmend

---

1 Architect. Hydr. T. II. p. 130.

brauchbar befunden worden ist. Sie besteht aus einem gemeinen runden oder auch vierkantigen Kasten von Holz ABCD, in dessen unterm Ende sich ein Bret mit einem Ventile befindet. Ueber der Oeffnung des Ventils E wird ein Sack aus doppeltem Segeltuch mit zwischenliegendem Leder genagelt, welcher etwa 6 Zoll im Durchmesser hat und in Absätzen von gleichfalls gegen 6 Zoll durch hölzerne Reife ff, ff, ff, ... ausgespannt ist. Das obere Ende desselben ist wieder an ein mit einem in seiner Mitte befindlichen Ventile F versehenes Bret genagelt, welches durch die beiden in zwei Löchern desselben befestigten Enden des Bügels, worin die Kolbenstange G ausläuft, auf- und abwärts bewegt wird. Drückt man den Sack nieder, so wird sein Volumen vermindert und das eingeschlossene Wasser entweicht durch das Ventil F, beim Aufziehen dagegen wächst sein Volumen, er saugt Wasser durch das Ventil E ein und treibt das im Kasten befindliche aus. Die Anwendung des Schafleders zwischen den beiden Lagen Segeltuch scheint mir schwierig, mit wasserdichter Leinwand würde aber die Maschine viel leisten.

Fig. 152.

Perkins[1] hat eine Pumpe bekannt gemacht und patentisiren lassen, welche sowohl bei Brunnen als auch auf Schiffen gebraucht, zugleich zur Bewässerung und als Feuerspritze angewandt werden kann, dabei aber den Vortheil gewährt, dafs der etwa gehobene Sand in einen unteren erweiterten Theil des Stiefels zurückfällt, um die Ventile nicht zu beschädigen, was namentlich für Schiffspumpen wesentlich ist, damit sie nicht im Augenblicke der Gefahr den Dienst versagen. Der Stiefel A ist wie gewöhnlich geformt, hat aber unten eine (in der Figur nicht dargestellte) Erweiterung zur Aufnahme des Sandes und kleiner Steinchen. Das untere Ventil F ist von konischer Form und mit zwei Klappen versehn; eben so hat das obere E gleichfalls zwei Klappen und die Kolbenstange ist von einem hohlen Cylinder umgeben, welcher sich in einer Stopfbüchse nur bis an den aufgeschraubten Ring b b luftdicht bewegt, um beim Ziehen desselben vermittelst der bloſsen Hand nicht zu hoch gehoben zu werden. Das geförderte

Fig. 153.

1 London Journ. of Arts and Sc. Vol. II. N. 7. Bulletin de la Soc. d'Encouragement de l'industrie nat. XXme ann. N. 203. Daraus in Jahrbücher des Wiener polyt. Instituts. Bd. XIII. S. 304.

Wasser fliefst aus dem Rohre D aus, an dessen Ende eine Spitze oder ein Schlauch angebracht wird, wenn man die Pumpe als Feuerspritze gebrauchen will, in welchem Falle dann der Windkessel C von wesentlichem Nutzen ist.

Unter den verschiedenen Pumpen kommen die zur Förderung des Wassers aus gewöhnlichen Brunnen dienenden am meisten in Anwendung. Weil aber die gebräuchlichen hölzernen Pumpenstöcke sowohl wegen des Verfaulens des Holzes als auch wegen der Mangelhaftigkeit des Baues der Kolben (auch Schuhe genannt) und ihrer Liederung unablässige Reparaturen erfordern, so ist es weit vortheilhafter, die anfänglichen gröfseren Kosten nicht zu scheuen und alle Maschinentheile aus Metall verfertigen zu lassen. Zu den Röhren wählt man am zweckmäfsigsten gufseiserne oder bleierne[1], wenn man den geringen Antheil von Bleikalk nicht achtet, den die letzteren dem Wasser mittheilen, der Stiefel und die Ventile aber werden am besten aus Kupfer, Messing oder Glockenmetall verfertigt. Der Pumpenschwengel und das Ausgufsrohr befinden sich in der Regel über dem Brunnen, man kann jedoch beide vereint oder getrennt in beliebiger Entfernung vom Brunnen anbringen. In letzterem Falle mufs man in einer Höhe von höchstens 25 Fufs über dem Wasserspiegel des Rohr rechtwinklig umbiegen und horizontal oder in so geringer Neigung, dafs die ganze verticale Höhe über dem Wasserspiegel die angegebene Höhe von 25 Fufs nicht übersteigt, nach dem erforderlichen Orte hinführen und dort mit dem Stiefel in Verbindung bringen. Die Pumpe kann eine Saugpumpe oder eine Saug- und Druckpumpe seyn und in beiden Fällen kann die Ausgufsröhre an dem nämlichen Orte angebracht werden, wo sich der Brunnenschwengel befindet, oder man kann von diesem Orte aus abermals ein Rohr dahin führen, wo man den Ausflufs verlangt. Für die Fälle solcher Leitungen sind die bleiernen Röhren vorzüglich geeignet, weil sie sich so leicht nach jeder Richtung biegen lassen; jedoch gewähren die thönernen unter geeigneten Umständen den Vortheil gröfster Reinlichkeit und unvergänglicher Dauer.

Um für die so oft vorkommenden Fälle dieser Art mindestens an einem Beispiele zu zeigen, wie die Berechnungen

---

1 Vergl. Art. *Röhren.*

anzustellen sind, nehme ich an, es sey eine Pumpe für einen Brunnen einzurichten, bei welchem die lothrechte Höhe vom Wasserspiegel bis zur Mündung der Ausgufsröhre 38 par. Fufs betragen möge. Im Allgemeinen ist die Aufgabe, das Verhältnifs der erforderlichen Kraft und der Zeit zu der geförderten Wassermenge darzustellen, indem sich nach allgemeinen mechanischen Gesetzen von selbst versteht, dafs in längerer Zeit bei gleichbleibendem Kraftaufwande und in gleicher Zeit durch gröfseren Kraftaufwand mehr Wasser gefördert werden kann. Für einen mittlern Fall nehme ich an, der Stiefel bestehe aus Kupfer, welches wegen seiner Stärke und Dauerhaftigkeit für diesen Zweck wohl am geeignetsten seyn möchte. Derselbe sey ferner mit der in Fig. 151. dargestellten Vorrichtung versehn, dafs statt des Kolbens ein über einen eisernen Dorn getriebener Cylinder von Messing diene, welcher nach Belieben entweder von unten aufwärts gehoben oder herabgedrückt werden kann; in beiden Fällen aber ist die Pumpe eine vereinte Saug- und Druckpumpe. Der Stiefel möge ferner 20 F. über dem Wasserspiegel entweder im Brunnen selbst, etwa in einer horizontalen eingemauerten Steinplatte, oder in der Entfernung von demselben an seinem Orte befestigt seyn. In beiden Fällen ist also bei einer Bewegung des Kolbens eine Wassersäule von 20 F. Höhe zu heben, beim Rückgange desselben eine von 18 F. Höhe empor zu drücken; die für eine jede dieser Bewegungen erforderliche Kraft, die dem Wesen nach gleich ist, verhält sich also wie 20 zu 18, und aus der Berechnung der einen ergiebt sich also auch die Berechnung der andern, weswegen ich nur die erstere wähle.

Der bewegliche Cylinder habe einen Durchmesser von 2 par. Zollen, so beträgt, wie weit auch das herabgehende Rohr seyn möge, wenn nur seine Engigkeit die freie Strömung des Wassers nicht erschwert, die zu hebende Wassersäule nach der Formel $r^2 \pi h$, wenn r den Halbmesser, π die Verhältnifszahl des Kreisumfangs zum Durchmesser und h die Höhe bezeichnet, die zu hebende Wassersäule 753,99 Kub. Zoll, und wiegt, den Kub. Fufs Wasser = 70 ℔ angenommen, $\frac{753,99 \times 70}{1728} = 30,543$ ℔. Für die verticale Bewegung des Cylinders bei jedem Zuge werden 8 Zoll angenommen, und wenn dann für die Stopfbüchse 2 Z. und noch 1 Z. Ueberschufs

zugesetzt werden, damit bei möglicher etwas höherer Hebung des Cylinders sein unterer Rand nie in die Stopfbüchse komme, so beträgt sein Inhalt bei 2 Z. Durchmesser und 11 Zoll Höhe 34,56 Kub. Zoll. Die Höhe der Kolbenstange betrage 18 Fuſs und ihr Querschnitt 0,75 Zoll, so ist ihr Inhalt 162 Kub. Zoll, und es sind also im Ganzen $162 + 34{,}56 = 196{,}56$ Kub. Zoll Metall zu heben, deren Gewicht, wenn man das spec. Gewicht hoch $= 8$ annimmt, $\frac{196{,}56 \times 8 \times 70}{1728} = 63{,}7$ ℔ beträgt. Die Summe der zu hebenden Last beträgt demnach $63{,}7 + 30{,}543 = 94{,}243$ ℔, und wenn die Reibung der Maschinentheile zu ⅓ der Last angenommen wird, im Ganzen $94{,}243 + 31{,}4 = 125{,}6$ ℔. Die beim Niedergehn des Embolus emporzudrückende Wassersäule beträgt nur 18 F. und wiegt also 27,5 ℔. Rechnen wir die für die Reibung so eben gefundene Gröſse hinzu, so giebt dieses im Ganzen nur 58,9 ℔, folglich da der Embolus mit der Stange ein Gewicht von 63,7 ℔ hat, die herabwärts drükken, so ist ein Ueberschuſs an Kraft von 4,8 ℔ vorhanden. In diesem Falle würde also erforderlich seyn, ein Gegengewicht von 65,2 ℔ anzubringen, wonach dann, ohne Rücksicht auf die hierdurch vermehrte Reibung, beim Aufziehn $125{,}6 - 65{,}2 = 60{,}4$ ℔ zu heben, beim Niedergange aber $58{,}9 - 63{,}7 + 65{,}2 = 60{,}4$ ℔ emporzudrücken wären. Weil endlich eine Wassersäule von dem angenommenen Inhalte bei 20 Fuſs Höhe 30,543 ℔ wiegt, so beträgt jeder Fuſs nahe genau 1,5 ℔, und das Wasser könnte also noch über 36 F. höher hinaufgedrückt werden, wenn ohne Gegengewicht, aber mit Beibehaltung der übrigen angegebenen Gröſsen die beim Aufziehn und Niederdrücken anzuwendenden Kräfte einander gleich seyn sollten. Wollte man zur Förderung einer gröſseren Wassermenge den Durchmesser des Cylinders vermehren, so würde es auf keine Weise erforderlich seyn, diesen massiv zu machen, vielmehr würde ein hohler aus Messing oder Kupfer von höchstens 2 Lin. Metalldicke vollkommen genügen, so daſs auf jeden Fall sein Gewicht nicht über die angenommene Gröſse hinausgehn könnte, selbst wenn sein Durchmesser auf das Doppelte vermehrt wäre und also die vierfache Wassermasse gehoben würde. In diesem Falle betrüge für einen Cylinder von 4 Zoll Durchmesser die bis 20 Fuſs Höhe zu hebende Wassersäule 122,172 ℔, das Gewicht der Stange

und des Embolus 63,7 ℔, zusammen 185,872 ℔, und wenn auch hierbei für Reibung ¼ der ganzen Last gerechnet wird, die gesammte zu hebende Last 247,77 ℔; dagegen die emporzudrückende Wassersäule 110 ℔ und die nämliche Gröfse für den Widerstand gerechnet, im Ganzen 171,9 ℔, wovon nach Abzug des Gewichts der Stange und des Embolus mit 63,7 ℔ noch 108,2 ℔ bleiben. Es müfste demnach unter diesen Umständen ein Gegengewicht von 69,8 ℔ angebracht werden, worauf dann $108{,}2 + 69{,}8 = 178$ und $247{,}8 - 69{,}8 = 178$ sich einander das Gleichgewicht halten.

Man sieht aus dieser bis ins Einzelne durchgeführten Berechnung, dafs die Resultate durch die verschiedenen gegebenen Bedingungen bedeutend abgeändert werden und man daher diese letztern für jeden einzelnen gegebnen Fall gehörig berücksichtigen müsse. Die Bewegung der Kolbenstange geschieht durch die bekannten Brunnenschwengel oder durch vertical aus dem Boden aufsteigende Stangen, in beiden Fällen so, dafs die angewandte Kraft vermittelst der Wirkung des längern Hebelarms auf den kürzern bedeutend vermehrt wird. Gewöhnlich ist die Bewegung der Stange wegen des vom kürzern Hebelarme durchlaufenen Bogens nicht stets vertical, was wegen der Länge der Stange von keinem bedeutenden Einflusse ist, bei genauer Arbeit der ganzen Maschine aber besser vermieden wird und durch folgende, für eine vertical aufgerichtete Stange geeignete, auf gewöhnliche Brunnenschwengel leicht anwendbare Vorrichtung ohne Schwierigkeit beseitigt wird. Es sey ab die cylinderförmige oder sonst gestaltete Welle, am besten von Gufseisen, die mit ihren Zapfen α und β in fest eingelassenen Hülsen um ihre Axe leicht beweglich ist und erforderlichen Falls leicht so weit verlängert werden kann, als ihre Festigkeit gegen die Drehung gestattet, wenn man die Bewegung des Arms dc vom Brunnen zu entfernen wünscht. Will man die Entfernung der Kolbenstange von der verticalen Ebene nicht vermeiden, so genügt es, bei m einen einfachen Hebelarm anzubringen und an diesem die Kolbenstange drehbar zu befestigen, so dafs dieselbe vertical auf- und niedersteigt, wenn der Knopf d mit der Hand in einer ihr parallelen verticalen Ebene hin und her bewegt wird. Verlangt man dagegen eine genaue verticale Bewegung, so sey c der Mittelpunct der eben beschriebenen Welle. An dieser be-

Fig. 154.

Fig. 155.

finde sich der Hebelarm A, welcher aus einem Bogentheile mit zwei hervorstehenden Rändern besteht, zwischen denen die Stange ab genau passend liegt. Auf den Knöpfen α und β sey die Stange $\alpha\beta$ um die genannten Knöpfe drehbar befestigt und auf gleiche Weise eine zweite auf der andern Seite an den in der Zeichnung nicht sichtbaren Knöpfen über γ und unter a, wodurch bei der Drehung der Welle um ihre Axe die Stange ab zwischen den beiden überstehenden Rändern im steten Wechsel genau vertical auf- und absteigend bewegt wird.

Um die erforderliche Kraft zu berechnen, werde angenommen, die Länge des kürzern Hebelarms A vom Centrum der Welle bis an das Ende des Bogens, wo die Stange anliegt, betrage 8 Zolle, die Länge des längern Hebelarms vom Centrum der Welle bis in die Mitte der Handhabe dagegen 4 Fuſs oder 48 Zolle, so ist ihr Verhältniſs 1 zu 6 und man wird also mit 1 ℔ Kraft 6 ℔ Last fördern. Beträgt dann nach einer der obigen Annahmen die zu hebende Last 125,6 ℔, so erfordert die Bewegung $\frac{125,6}{6} = 20,93$ ℔, und die Bewegung kann also, wenn man die Kraft eines Manns zu 25 ℔ annimmt, auch von schwächeren Personen, insbesondere wenn sie nur kurze Zeit dauert, füglich mit groſser Geschwindigkeit geschehn; wäre dagegen eine anhaltende Bewegung erforderlich, z. B. bei technischen Anlagen, so würde es vortheilhaft seyn, ein Schwungrad mit einer Kurbel anzubringen, um die erforderliche Anstrengung gleichmäſsig zu vertheilen, wofür jedoch eine abgeänderte Construction nothwendig wird, deren Beschreibung nicht hierher gehört.

Endlich kommt die Menge des Wassers, die in einer gegebenen Zeit gefördert wird, hauptsächlich in Betrachtung, die jedoch ohne Schwierigkeit berechnet werden kann. In dem gewählten Beispiele ist ohne Rücksicht auf die Saug- und Druckhöhe angenommen, daſs der Embolus 2 Zoll im Durchmesser habe und bei jedem Zuge 8 Zoll abwechselnd gehoben oder herabgedrückt werde. Da aber beim Aufsteigen desselben das Wasser in den Stiefel aufgesogen, beim Herabgehn dagegen aus demselben in die Höhe gedrückt wird, so muſs durch jeden Hin- und Hergang des Brunnenschwengels ein Wassercylinder von 2 Z. Durchmesser und 8 Z. Höhe gefördert

werden, wenn man einen möglichen geringen Verlust durch die Ventile und die anfänglich nöthige Erfüllung des Stiefels nebst den Röhren nicht berücksichtigt. Der Kubik-Inhalt des angegebenen Cylinders beträgt 25,13 Kub. Zoll. Indem aber die Länge des kürzern, die Kolbenstange hebenden Hebelarms zu 8 Zoll, das Verhältniſs zum längern Hebelarme des Brunnenschwengels wie 1 zu 6 angenommen ist, so folgt erstlich, daſs der Bogen, an welchem die Kolbenstange anliegt, für 8 Z. Hebung nicht kleiner als von 8 Z. Länge oder 58° seyn dürfe[1], und zweitens, daſs das Ende des längern Hebelarms durch 6×8 oder 48 Z. = 4 Fuſs bewegt werden müsse. Wenn man nun annimmt, daſs diese Bewegungen bei der nicht groſsen Last in 1 Secunde geschehn, was mindestens für eine nur kurze Zeit dauernde Anstrengung sehr wohl möglich ist, so würden in jeder Minute $30 \times 25{,}13 = 753{,}9$ Kubikzoll gehoben, welches nahe genau 16 Pinten oder 15 Liter beträgt, wenn man die Pinte zu 47 Kub. Zoll und 1 Pinte = 0,931 Liter in genähertem Werthe annimmt. Dieses leichte Beispiel zeigt, auf welche Weise solche Berechnungen in vorkommenden Fällen anzustellen sind; jedoch muſs neben der dem Künstler zu empfehlenden Genauigkeit in Anfertigung der Maschinentheile hauptsächlich dahin gesehn werden, daſs nicht zu viele Luft im Stiefel und in den Röhrenenden bis zu den Ventilen zurückbleibe, deren Ausdehnung sonst leicht das Aufsaugen der erforderlichen Wassermasse hindern oder gänzlich aufheben könnte. Ob es übrigens vortheilhafter sey, den Cylinder von oben herab in den Stiefel zu drücken oder von unten aufwärts zu heben, hängt von dem Verhältnisse der Wassersäulen ab, die durch Saugen gehoben oder durch Drücken aufwärts getrieben werden sollen. Ist die Wassersäule des Saugwerks die höchste, so wird man mit Vortheil den Cylinder von unten emporheben, weil dann das Gewicht desselben nebst dem der Stange beim Saugen zu Hülfe kommt, ist dagegen die durch Druck zu hebende Wassersäule am höchsten, so wendet man mit Vortheil die entgegengesetzte Construction an.

---

1 Es wird überflüssig seyn zu bemerken, daſs für einen Halbmesser von 8 Z. der ganze Kreis $6{,}28 \times 8$ Zoll beträgt, wovon 8 Z. den 6,28sten Theil ausmacht, und wonach dann $\frac{360°}{6{,}28}$ etwas über 57° beträgt.

Da bei den Saugpumpen das Aufziehn und bei den Compressionspumpen das Herabdrücken des Kolbens eine weit über die mittlere hinausgehende Kraft erfordert, beide Maschinen aber sich zu einer schnellen Bewegung der Kolben nicht eignen, weil sonst die Theile derselben zu sehr leiden, wenn sie bei dem unvermeidlichen Wechsel des Kolbenspiels zu schnell aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung übergehn, so sucht man mehrere Kolben mit einander so zu verbinden, dafs dadurch eine ununterbrochene Wirksamkeit der Maschine und eine stets gleichmäfsige Kraftanwendung erreicht wird [1]. Am einfachsten geschieht dieses dadurch, dafs man an beiden Hebelarmen in gleichem Abstande vom Hypomochlium h zwei Kolbenstangen a und b anbringt, deren eine gehoben, die andere herabgedrückt wird, so dafs also, wenn beide besonderen Saugpumpen oder Druckpumpen zugehören, nicht blofs anhaltend Wasser gehoben, sondern auch die Kraft ohne unnütze Verschwendung an einem Gegengewichte gleichmäfsig auf beide Bewegungen vertheilt wird. Am leichtesten läfst sich dieses Princip bis zu einer beliebigen Menge verbundener Kolbenstangen erweitern, wenn man sie an einer umgedrehten kreisförmigen Scheibe vereinigt, wie zur leichteren Uebersicht für drei Kolbenstangen durch die Zeichnung erläutert wird. Es sey zu diesem Ende QDM ein Kreis auf der Scheibe, die um ihre horizontalliegende Axe O gedreht wird. Auf dieser sind drei ungleich weit hervorragende Zapfen K, H, B befestigt, auf welche die Kolbenstangen KS, HT, BR mit ihren untern Enden gesteckt und durch eine vorgeschraubte Mutterschraube festgehalten werden. Es fällt von selbst in die Augen, dafs man statt der Scheibe auch einen Stern mit gleichlangen Speichen in derjenigen Anzahl wählen könne, die man für den vorgesetzten Zweck am geeignetsten findet, desgleichen dafs hierdurch ein ununterbrochener Wechsel des Aufsteigens und Herabgehns der an den entgegengesetzten Hebelarmen angebrachten Kolbenstangen statt finden mufs.

Fig. 156. Fig. 157.

Die *Kolben*, womit die beschriebenen Pumpen versehn

---

1 Markkobler's Pumpe mit zwei Stiefeln und zwei Kolben in jedem ist zu complicirt. S. Repertory of Arts. Daraus in G. XV. 71.

werden, sind bereits im Art. *Druckpumpe* mit der erforderlichen Ausführlichkeit beschrieben, auch ist daselbst von den *Ventilen* kurz geredet worden. Diese bestehn im Allgemeinen aus zwei mit gleichen Flächen versehenen Körpern, die von einander getrennt werden, wenn das Wasser zwischen ihnen durchströmen soll, und zusammenfallen, wenn dasselbe zurückzuströmen anfängt. Die Flächen sind entweder ebene, indem sich in der hölzernen oder metallnen Scheibe ab eine Oeffnung befindet, welche durch die Scheibe e verschlossen wird, an welcher sich unten eine verticale, in der weiten Oeffnung des Bügels $\gamma\delta$ leicht bewegliche Stange $\alpha\beta$ befindet, um die Lage der oberen Scheibe unverrückt zu erhalten, wobei sich von selbst versteht, dafs diese Stange auch zu gröfserer Sicherheit durch zwei in verticaler Linie über einander befindliche Löcher sich bewegen kann. Bei den gemeinen Pumpen ist die Scheibe e meistens von Holz und mit einem untergelegten Stücke Leder oder Filz versehn, welches am einen hervorstehenden Ende auf das untere Bret ab genagelt wird und zugleich ein Charnier bildet, so dafs das Bretchen e sich klappenartig öffnet und schliefst. Es gebührt jedoch den metallnen auf jeden Fall der Vorzug und es ist besser, wenn sie ganz gehoben werden und ihre horizontale Lage nicht ändern, weil sie dann dem Wasser mehr Spielraum gestatten; auch möchte ich den ganz ebenen vor allen andern den Vorzug einräumen, weil man ebene Flächen am leichtesten verfertigen und genau schliefsend auf einander schleifen kann. Uebrigens giebt man ihnen auch die Form stumpfer abgekürzter Kegel, der Muscheln, der Kugeln u. s. w., worüber ausführlich zu handeln hier nicht zweckmäfsig seyn würde[1].

Fig. 158.

Zu den Wasserhebungs-Maschinen, die hier am schicklichsten kurz zu erwähnen sind, gehören die bereits beschriebenen, nämlich Langsdorf's *Saug-Schwungmaschine*[2] und Vera's *Seilmaschine*[3], desgleichen der *Stofsheber* oder *hydraulische Widder*, der *Heronsbrunnen* oder Heron's *Spring-*

---

1 Vergl. Robison a. a. O. p. 677. v. Gerstner a. a. O. Bd. II. S. 129.

2 S. Bd. II. S. 82. Nach Barlow in Encyclop. metrop. Mixed. Sc. T. I. p. 289. ist sie durch Erskine erfunden worden.

3 S. Bd. I. S. 191.

brunnen und die *Wassersäulenmaschine*, deren Beschreibung eigenen Artikeln vorbehalten bleiben. Aufserdem gehören noch folgende zu den bekanntesten und wichtigsten.

1. Die Schnecke oder die Wasserschraube des Archimedes, deren Erfindung gewöhnlich diesem grofsen Geometer zugeschrieben wird, die jedoch schon früher von den Aegyptiern zur Nachhülfe bei den Nilschwellen gebraucht worden seyn soll. Diodorus Siculus[1] erzählt nämlich, sie sey von jenem auf seiner Reise nach Aegypten erfunden worden und seitdem dort in Anwendung gekommen, aber Vitruv nennt ihn nicht als Erfinder und Perrault in seinem Commentar zu dieser Stelle bemerkt, dafs die Maschine zu dem angegebenen Zwecke, nämlich die Wiesen nach den Ueberschwemmungen auszutrocknen, höchst wahrscheinlich schon früher gebraucht worden sey. Nach dem übereinstimmenden Zeugnisse von Diodorus und Athenaeus[2], welcher erzählt, dafs auch die Schiffer von dieser Maschine unter dem Namen der archimedeischen Schnecke zum Fortschaffen des Wassers aus den Schiffen Gebrauch zu machen pflegten, möchte es dennoch am geeignetsten seyn, ihn als den Erfinder derselben anzusehn, indem ich die durch Perrault erhobenen Zweifel dem Bestreben der damaligen französischen Gelehrten beizumessen geneigt bin, alle wichtige Erfindungen von den Aegyptiern abzuleiten.

Die *Wasserschraube* des Archimedes, wie sie gewöhnlich als Modell in den physikalischen Cabinetten angetroffen wird, besteht aus einem hölzernen oder blechernen Cylinder ABCD, welcher oben mit einer Kurbel, unten mit einem Zapfen versehn ist, beide dazu bestimmt, den Cylinder um seine Axe zu drehn. Um denselben ist eine wenige Linien inneren Durchmesser haltende Glasröhre E schraubenförmig gewunden, so dafs sie sich mit dem Cylinder umdreht und, an beiden Seiten offen, bei einer gegen den Horizont geneigten Lage des Cylinders mit dem unteren ins Wasser gesenkten Ende bei jeder Umdrehung Wasser schöpft, welches dann bei fortgehender Drehung in ihr aufwärts gehoben wird, um am andern Ende auszufliefsen. In ihrer zum praktischen Gebrauche bestimmten Gestalt, wie sie nach Barlow hauptsächlich

Fig. 159.

1 Bibliotheca Hist. L. I.

2 Deipnosoph. L. V.

in Deutschland angewandt wird, so daſs sie hiernach die deutsche heiſst, ist ihr Bau hiervon sehr verschieden. Bei guter Construction besteht sie aus einer eisernen Spindel AB von etwa 1,5 bis 2,5 Zoll Durchmesser, deren oberes und unteres Ende zum Auflegen auf die Unterlagen bestimmt sind, während an der Fortsetzung des obern Endes die Kurbel angebracht ist. Diese Spindel bildet die Axe einer aus geraden Dauben oder Faſsstäben gebildeten cylinderförmigen Tonne, des Mantels, von 2 F. Durchmesser und 16 bis 24 F. Länge, welcher durch eine hinlängliche Anzahl eiserner Bänder zusammengehalten wird. Im Innern dieses Cylinders laufen nach Art der Windungen in den Schneckenhäusern drei auf die Spindel gestützte und in Vertiefungen in der innern Seite des Cylinders (des Mantels) eingesteckte, aus gehörig geformten einzelnen Stücken Kiefernholz zusammengesetzte Windungen. Es ist hauptsächlich zu beachten, daſs die einzelnen Theile dieses dreifachen Schraubengangs vorher gehörig geformt werden, so daſs sie an dem schmaleren Ende, wo sie die eiserne Spindel berühren oder, falls letztere von Holz und dann verhältniſsmäſsig (bis etwa 5 Zoll) dicker ist, in dieselbe oder in einen Falz der eisernen Spindel eingelassen werden, dicker, an dem breitern, in den Cylinder gefügten Ende aber dünner sind, daſs sie ferner dicht an einander stoſsen und eine ziemlich glatte, gleichmäſsig gekrümmte Fläche bilden. An der Spindel beträgt die Dicke eines solchen Schraubengangs ungefähr 1 Zoll, an der innern Wandung des Cylinders aber nicht mehr als höchstens 3 Linien und der Abstand der Schraubengänge von einander etwa 2 Zoll, so daſs die Höhe eines einzelnen Schraubengangs ungefähr 6 Zoll ausmacht. An dem untern Theile der zum Umdrehn der Maschine dienenden Kurbelhandhabe befinden sich meistens zwei vermittelst eiserner Ringe aufgesteckte hölzerne Stangen von 6 bis 8 F. Länge, durch welche drei Stäbe gesteckt sind, an deren jedem ein Arbeiter zieht, so daſs 12 Mann an diesen Stäben und 4 an der Kurbel selbst, also im Ganzen 16 Mann gleichzeitig arbeiten können.

Fig. 160.

Die Wirkungsart der Maschine wird leicht erkannt, wenn man sich denkt, daſs die Spindel vertical gestellt werde, in welchem Falle oben aufgeschüttetes Wasser auf jedem der schraubenförmigen Gänge, deren zur leichteren Uebersicht nur einer gezeichnet ist und bei der Demonstration berücksichtigt

werden mag, herabfliefsen würde. Neigt man dagegen die Spindel gegen den Horizont, so wird zwar in Beziehung auf eine durch die Axe der Spindel gelegte verticale Ebene die eine Seite des Schneckengangs noch stärker geneigt werden und also das Wasser noch schneller herabfliefsen lassen, die andere dagegen wird horizontal werden, wenn der Neigungswinkel gegen den Horizont $= \alpha$ und derjenige Winkel $= \beta$, welchen die Ebene des Scheckengangs mit der Spindel macht, zusammen 90° betragen, weswegen die Maschine unwirksam ist, wenn ihr Neigungswinkel nicht kleiner wird, als er hiernach seyn würde. In diesem Falle würde oben aufgegossenes Wasser auf der geneigten Seite herabfliefsen, auf der horizontalen aber stehn bleiben, wenn es nicht in Folge der durch seine Masse gegebenen Höhe auf gleiche Weise, als auf horizontaler Ebene fortflösse, so dafs also hiernach kein Wasser auf der schraubenförmigen Fläche stehn bliebe. Brächte man die Spindel in eine horizontale Lage so, dafs das eine Ende des Mantels sich ganz unter Wasser befände, so würde dieser sich ganz mit Wasser füllen, wenn dasselbe am andern nicht ausfliefsen könnte. Hieraus ergiebt sich also von selbst, dafs bei einem Neigungswinkel der Spindel mit dem Horizonte $= \frac{1}{2}\alpha$ die Hälfte des innern Raums durch aufgegossenes Wasser erfüllt werden mufs, und da β gegen α meistens klein ist, so rechnet man daher einen Neigungswinkel von 45° gegen den Horizont als den vortheilhaftesten für den Gebrauch der Maschine[1]. Es geht hieraus ferner hervor, dafs der ganz unter Wasser getauchte Theil der Maschine bis dahin, wo der Wasserspiegel die Axe der Spindel schneidet, als ganz unnütz zu betrachten sey; auch will Langsdorf gefunden haben, dafs nach seinen Versuchen die Maschine weniger Wasser giebt, wenn sie tiefer ins Wasser eingetaucht ist, was daraus erklärlich wird, dafs dann die vom andern Ende her eindringende Luft nicht so leicht die obere Hälfte des Raums im Mantel auszufüllen vermag. Ist aber der untere Theil der gehörig geneigten Maschine bis zur Axe der Spin-

1 Nach Vitruv de Archit. L. X. cap. XI. p. 243. ed. Rode wird sie so aufgerichtet, dafs ihre Länge, ihre Höhe und die Grundfläche des hieraus gebildeten rechtwinkligen Dreiecks sich wie die Zahlen 5:3:4 verhalten, was einen Elevationswinkel von 36° 53′ giebt.

del ins Wasser eingesenkt (obgleich nach der gegebenen Darstellung diese Tiefe keine nothwendige Bedingung ihrer Wirksamkeit ist) und wird sie vermittelst der Kurbel um ihre Axe gedreht, so füllt sich der untergetauchte Zwischenraum zwischen zwei Schraubengängen mit Wasser, welches beim fortgesetzten Drehen den untern Theil dieses Raums ausfüllt, auch wenn der vorher erfüllte wieder nach oben gerichtet ist, und da dieses eingeschlossene Wasser nicht wieder über die aufsteigende geneigte Ebene der andern Hälfte des Schraubengangs zurückfliefsen kann, so mufs es zuletzt bis zum andern Ende des Mantels ansteigen und dort ausfliefsen.

Die Maschine liefert, wenn sie von den angegebenen Dimensionen in Anwendung gebracht wird, bei etwas schneller Bewegung (höchstens 90 Umdrehungen in einer Minute) eine grofse Menge Wasser, jedoch nicht auf eine bedeutende Höhe, die Theorie derselben ist aber aufserordentlich schwierig. Es haben sich daran versucht Dan. Bernoulli[1] und Pitot[2], hauptsächlich L. Euler[3], welcher seine Untersuchungen jedoch nicht für beendigt, vielmehr das Problem für sehr schwierig erklärt. Diesemnach setzte die Akademie zu Berlin im Jahre 1766 einen Preis auf die Auflösung desselben, welchen Hennert[4] erhielt, allein Karsten[5] zeigte, dafs seine Auflösung keineswegs genügt. Auch Bellogradi[6] hat sich daran versucht und ausführlich handelt darüber Langsdorf[7], welcher sowohl theoretische Untersuchungen, als auch die Resultate seiner Versuche mittheilt, die jedoch beide nicht in einem erforderlichen Grade zusammenstimmen, weil nach seinen Nachweisungen noch verschiedene Bedingungen zu berücksichtigen sind, die seine Vorgänger übersehn haben und deren Bestimmung grofsen Schwierigkeiten unterliegt. Die aus-

---

1 Hydrodyn. Sect. IX. p. 183.

2 Mém. de Paris. 1736. p. 173.

3 Nov. Comm. Pet. T. V. p. 259.

4 Dissert. sur la Vis d'Archimede cet. 1766.

5 Lehrbegriff der gesammten Math. Greifsw. 1771. Bd. VI. Abs. XXXVI. u. XXXVII.

6 Theoria cochleae Archimedis ab observationibus, experimentis et analyticis rationibus ducta. Parmae 1767.

7 Lehrbuch der Hydraulik mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung. Altenb. 1794. Bd. I. S. 557 ff.

führlichsten Untersuchungen über diese Maschine sind durch HACHETTE[1] angestellt worden, welcher zugleich Tabellen über die Verhältnisse der Dimensionen und der Neigung derselben nach den Versuchen von TOUROUDE mittheilt, die 1766 angestellt, aber erst 1809 bekannt gemacht wurden. Nach zwei Versuchen von LAMANDÉ, bei deren einem HACHETTE selbst gegenwärtig war, wurde eine Schnecke von 5,85 Meter Länge und 0,49 Meter Durchmesser angewandt. Die Bewegung geschah durch 18 Menschen, die sich zu 9 und 9 alle 2 Stunden ablösten. Bei 40 Umdrehungen in 1 Minute wurden 45 Kub. Meter auf 3,3 Meter Höhe in 1 Stunde gehoben, welches für 10 Arbeitsstunden 450 Kub. Meter zu 3,3 Meter Höhe oder 1485 Kub. Meter zu 1 Meter Höhe, also den Nutzeffect der Arbeit eines Manns für einen Tag zu 82 Kubikmeter zu 1 Meter Höhe gehoben, folglich ungefähr der Arbeit beim Rammen gleichkommend giebt. Beim zweiten Versuche machte die Maschine nur 35 Umdrehungen in 1 Minute, es arbeiteten 6 Menschen 6 Stunden und hoben in einer Minute 765 Liter zu 2 Meter Höhe oder 91,8 Kub. Meter zu 1 Meter Höhe in 1 Stunde. Der Widerstand des äufsern, gleichfalls in Bewegung gesetzten Wassers verzehrt einen bedeutenden Theil der aufgewandten bewegenden Kraft, weswegen die Maschine desto mehr Wasser liefert, je weniger tief sie eingetaucht ist. CAGNIARD-LATOUR hat eine sinnreiche Anwendung der Schnecke gemacht, um das Wasser mit Gasarten zu sättigen. Bewegt man sie nämlich in entgegengesetzter Richtung, so weicht das Wasser zurück und die durch die Windungen herabströmenden Gasarten verbinden sich mit der Flüssigkeit.

2. *Schöpfmaschinen*, vermittelst deren das Wasser in Gefäfsen aufgefafst, gehoben und dann ausgeschüttet wird, giebt es viele, deren genauere Beschreibung jedoch nicht zweckmäfsig seyn würde, weil sie das Wasser nicht zu bedeutenden Höhen heben, meistens grob construirt sind und daher bei der gegenwärtig weiter fortgerückten Mechanik nur selten in Anwendung kommen. Dahin gehört das *Tympanum* oder die *Trommel*, ein durch das Wasser bewegtes unterschlächtiges Schaufelrad, welches mit einem hohlen Kranze versehn ist, der, in vier bis acht Räumen durch Querbreter abgetheilt, beim Durch-

1 Traité élém. des Machin. Par. 1828. p. 180 ff.

gange durch das Wasser durch Löcher an seiner Aufsenseite sich mit Wasser füllt, dieses in die Höhe hebt und in einen in der Axe des Rads befindlichen Cylinder abfliefsen läfst, aus welchem dasselbe durch Oeffnungen in ein Gerinne strömt. De la Faye[1] hat dasselbe verbessert, namentlich die Zahl der schöpfenden Abtheilungen von 4 bis 8 vermehrt; allein da das Wasser vermittelst desselben nur bis zur Höhe des Halbmessers des Rads gehoben wird, die Anlegung eines Wasserrads, obendrein eines unterschlächtigen, nicht blofs kostspielig und mühsam, seine Erhaltung aber vielen Gefährdungen ausgesetzt ist, so wird diese Maschine ungeachtet der grofsen Menge Wassers, die sie fördert, dennoch selten in Anwendung gebracht.

Es schliefst sich hieran die in Spanien gebräuchliche *Noria*, ein verticales Rad mit Kasten oder Schaufeln in seinem Umkreise, die sich mit Wasser füllen und dasselbe ausschütten, wenn sie durch die Umdrehung des Rads oben angekommen sind. Die Bewegung des Rads geschieht durch Maulthiere. Am gebräuchlichsten sind die Schöpfräder, wie das so genannte persische Schöpfrad, ein durch Wasser getriebnes unterschlächtiges Rad, an dessen Kranze vierkantige Kasten oder Eimer an Zapfen so herabhängen, dafs ihre Oeffnung stets nach oben gerichtet bleibt, so dafs sie sich mit Wasser füllen, wenn sie gleichzeitig mit den Radschaufeln eingetaucht werden, ihren Inhalt beim Umdrehen in die Höhe heben und durch einen oben befindlichen, gegen ihren untern Theil fassenden Balken umgedreht in ein Gerinne ausschütten. Solche Schöpfräder sind hauptsächlich in Holland gebräuchlich, wo sie durch Windmühlen getrieben werden, und sie lassen sich überhaupt auf verschiedene Weise abändern. Besser dürfte das *Paternoster-Werk* bei der Anwendung sich zeigen. Dieses besteht aus einer Kette ohne Ende, auf welcher sich Kugeln, gepolsterte Bauschen oder Breter in gleichmäfsigen Abständen von einander befinden, die durch einen mit dem untern Ende im Wasser stehenden verticalen Kasten in die Höhe gewunden werden, und indem sie unten und oben um zwei horizontale Trommeln gelegt sind, in deren Vertiefungen sie genau passen, so bewegen sie sich an der entgegengesetzten Seite durch das Umdrehn der Trommeln herab-

1 Mém. de l'Acad. 1717.

wärts und nehmen beim Aufsteigen das bei ihrem Eintritte in die verticale Röhre über ihnen befindliche Wasser mit in die Höhe, welches dann oben abfliefst. Da die an der Kette befindlichen Körper den innern Raum der Röhre nicht sehr dicht ausfüllen können, so läuft viel Wasser neben ihnen zurück. Grofse Aehnlichkeit hiermit hat das *Kastenwerk* oder die *Kastenkunst* und dürfte bei genauer Ausführung der Arbeit in der Anwendung sich noch vorzüglicher zeigen. Diese Maschine besteht gleichfalls aus zwei einander parallel und horizontal liegenden sechskantigen Säulenstücken, die auch, wie in der Zeichnung ausgedrückt ist, aus 6 zusammengefugten und auf Speichen gestützten Stücken bestehn können. Um diese laufen zwei Ketten ohne Ende einander parallel, deren Glieder genau die Länge der Seiten jener um ihre Axen gedrehten Stücke haben und sich daher beim Herauf- und Herabgehn auf diese Seiten lagern. An den Gliedern beider Ketten zusammen sind an jedem gleich hohen Paare Kasten befestigt, welche oben weiter als unten, zum Theil auch oben bedeckt und mit einem etwas hervorstehenden Ausgufsrohre versehn sind, aus welchem das beim Eintauchen geschöpfte und demnächst in die Höhe gehobene Wasser dann in einen Behälter ausläuft, wenn die ihnen zugehörigen Kettenstücke eine horizontale Lage erhalten.

Fig. 161.

3. Eine sinnreich construirte und oft mit grofsem Nutzen in Anwendung zu bringende Maschine ist die vervielfältigende *Rad-Eimer-Maschine* (*multiplying wheel bucket engine*), von der zuerst SCHOTT redet, die aber ihre erste Ausführung durch GIRONIMO FINUGIO zu Rom im Jahre 1616 erhielt und seitdem auch in England wiederholt ausgeführt wurde[1]. Ueber ein gröfseres Rad WW ist eine Kette P gelegt, welche unterhalb eine Stange x und an dieser den Kasten b trägt, in dessen Boden sich ein durch einen Druck nach oben öffnendes Ventil befindet. Concentrisch mit dem grofsen Rade ist ein anderes ww von verhältnifsmäfsig kleinerem Durchmesser befestigt, um welches gleichfalls eine Kette mit einer Stange yz geschlungen ist, an deren unterem Ende das gröfsere Gefäfs B hängt. Im Boden des letztern befindet sich ein Ventil, welches durch die in n bewegliche Stange nm mit dem Gegen-

Fig. 162.

1 Barlow in Encyclop. met. I. p. 234.

gewichte m gehoben wird. Ist das Gefäfs B nach der in der Zeichnung angenommenen Stellung ganz mit Wasser gefüllt, so sinkt es herab, das unterhalb a befindliche Ventil fällt durch sein eigenes Gewicht zu, das Gefäfs B erreicht diejenige Stelle, wo der Balken M das Ventil im Boden desselben durch Hebung des Arms m öffnet, so dafs das erleichterte Gefäfs durch das auf den längeren Hebelarm wirkende kleinere b wieder gehoben wird, bis es das Ventil unter a wieder aufstöfst und abermals gefüllt wird. Während seines Herabsinkens hebt es das kleinere Gefäfs b, bis dieses an einer in seiner Mitte befindlichen Hervorragung durch den Haken s ergriffen, über den Rand des Kastens R um so leichter umgestürzt wird, als es an zwei etwas über seiner Mitte befindlichen Zapfen in einer bügelförmigen Gabel hängt, und dann sein Wasser in diesen Behälter R ausschüttet. Sollten etwa die beiden Gefäfse nicht gehörig balancirt seyn, so kann durch den Quadranten Q, in dessen Getriebe die gezahnte Stange cd eingreift und welcher mit dem willkürlich zu stellenden Gegengewichte X verbunden ist, nachgeholfen werden, welcher Mechanismus besonders dann in Anwendung kommen kann, wenn die Gewichte durch die ungleiche Länge der sich abwickelnden Ketten eine Veränderung erleiden.

Fig. 163. 4. Die *Spiralpumpe*, auch Wirtz's *Spiralpumpe* oder *Züricher Maschine* genannt, vom Zinngiefser Andreas Wirtz aus Zürich 1746 erfunden, hat wohl mehr Aufsehn erregt, als sie wegen ihrer praktischen Anwendbarkeit, insbesondere im Grofsen, verdient. Sie besteht aus einem auf horizontaler Axe drehbaren hohlen Cylinder, in dessen innerem Raume von der Axe ausgehend eine gewundene Platte, nach Art einer gespannten Uhrfeder, in zehn Windungen bis zum äufseren Rande fortläuft und daselbst am Ausgange mit einem Schöpftrichter versehn ist. Die zwischen den Windungen entstehenden Räume werden nach Innen zu stets enger, und ihr Ende senkt sich in die Welle, an welcher die ganze Trommel herumgedreht wird. Das eine, etwas hervorragende Ende dieser Welle ist in seiner Axe bis an jene Oeffnung durchbohrt und mit einer wasserdicht schliefsenden Röhre versehn, um welche die Welle gedreht wird, indem sie zugleich mit ihrem andern Ende in den kurzen horizontal umgebogenen Theil einer verticalen Steigröhre gesteckt ist. Befindet sich dann der

äufsere Theil der Trommel im Wasser und wird dieselbe nach der gehörigen Seite vermittelst der an der Welle befindlichen Kurbel oder durch einen sonstigen geeigneten Mechanismus umgedreht, so füllt sich der Schöpftrichter bei jeder Umdrehung mit Wasser, welches mit Luftschichten abwechselnd herabsinkt, die ganze Spiralwindung durchläuft, so in die Welle gelangt und in der Steigröhre aufsteigt[1]. Dan. Bernoulli[2] verbesserte diese Maschine, indem er eine lange bleierne, konisch sich verengernde Röhre in Spiralwindungen um einen abgekürzten Kegel wickelte, so dafs das eine weiteste Ende den Schöpftrichter bildete, das entgegengesetzte aber in den Kegel mündete, und in dieser veränderten Gestalt wurde dieselbe in Florenz, hauptsächlich in Rufsland, auch in Schweden und England zum praktischen Gebrauche ausgeführt[3]. Th. Young[4] versichert, dafs er den Versuch gemacht habe, das Wasser mit dieser Maschine bis zu 40 Fufs Höhe zu heben, welches daraus erklärlich wird, dafs die Wassersäule im Steigrohre durch die Summe der einzelnen in der Spirale befindlichen Säulen gedrückt wird; es läfst sich jedoch mit Grunde gegen diese Maschine einwenden, dafs das dichte Schliefsen der Verbindungsröhre schwierig ist und bei schneller Drehung die Schwungkraft hindernd eintritt, die so sehr zunehmen könnte, dafs gar keine Wirkung mehr erfolgte[5].

5. Eine sinnreich construirte vervielfachende Druckmaschine dient dazu, das Wasser bei nicht hohem Falle durch einzelne Absätze bis zu beliebigen Höhen zu treiben. Es sey

---

1 Vorläufige Anzeige eines neuen Schöpfrades, erfunden von A. Wirtz und beschrieben von J. H. Ziegler von Winterthur. In den Abhandl. d. naturf. Ges. in Zürich. Bd. III.

2 Nov. Comm. Pet. T. XVII. p. 251. Dieses ist in Anwendung gebracht durch Resener in G. XLIII. 168.

3 Nicander in Schwed. Abh. Bd. IV. S. 58, 197 u. 277. Lettre sur la machine hydraulique d'Archangelsky. Trad. du Suédois. Petersb. 1787. 8.

4 Lectures. T. I. p. 329.

5 Die Figur zeigt die, auch in Modellen übliche, Construction, wenn man statt der Trommel mit Abtheilungen eine hohle Schnecke um eine Axe windet. Sehr ausführlich über diese Maschine handelt v. Schmidt-Phiseldeck in J. R. Meyer systematische Darstell. aller Erfahrungen in d. Naturlehre. Aarau 1808. 4. Bd. IV. S. 376.

Fig. 164. zu diesem Ende das Gefäfs b durch Zuflufs stets mit Wasser gefüllt, welches einen der Höhe bc proportionalen Druck ausübt und nach dem Oeffnen des Hahns o und Schliefsung des andern p in den luftdicht schliefsenden Kasten B gelangt. Indem hierdurch die in dem letztern enthaltene Luft zusammengedrückt und eine gleiche Zusammendrückung auch durch das enge Rohr wx den luftdichten Gefäfsen g, i und l mitgetheilt wird, so mufs das in diesen enthaltene Wasser durch die Röhren z, z, z, z in die Gefäfse f, h, k bis nach C gelangen, wenn keine jener Röhren länger ist, als die Druckhöhe bc. Sind die genannten Gefäfse voll, so schliefst sich der Hahn o, der andere p aber öffnet sich, und das im Gefäfs B enthaltene Wasser läuft ab, indem gleichzeitig die äufsere Luft in dasselbe eindringt. Indem dann das Wasser in das gleichfalls luftdichte Gefäfs D strömt, welches vorläufig als leer angenommen wird, so mufs die Luft durch das aufsteigende Wasser in diesem und gleichzeitig durch die Verbindungsröhre ut in den gleichfalls luftdichten Behältern f, h und k zusammengedrückt werden, wodurch dann das darin enthaltene Wasser in die darüber befindlichen Gefäfse g, i und l aufsteigt. Durch den erfolgenden Wechsel der Hahnen entleert sich das Gefäfs D, während B wieder angefüllt wird und das beschriebene Spiel der Steigung wieder beginnt; die Selbststeuerung der Hahnen geschieht durch den in s beweglichen Hebel vermittelst der Gefäfse r, q, die auf die aus der Zeichnung sichtbare Weise abwechselnd mit Wasser gefüllt niedersinken, worauf dann die Ventile von unten aufgestofsen werden, z. B. bei q, wenn es nach q′ gelangt ist, und wieder in die Höhe steigen. Der Zuflufs des Wassers in die Rinne mufs durch den Hahn d so regulirt werden, dafs der Wechsel dieser Bewegung genau mit dem erforderlichen Wechsel des Oeffnens der Hahnen zusammenfällt. Die letztere Vorrichtung, wovon man bei verschiedenen Maschinen Gebrauch macht, wird wegen der oscillirenden Bewegung auch das *hydraulische Pendel* genannt. Uebrigens begreift man leicht, dafs das Wasser auch durch eine gröfsere Zahl über einander befindlicher Gefäfse beliebig hoch gehoben werden kann, dafs aber, die Steuerung abgerechnet, mehr Wasser verloren als gefördert wird, weil die Luft allezeit schon zusammengedrückt werden mufs, ehe sie das Wasser zu heben vermag.

Die so eben ausführlich beschriebene, auf das Princip der Wirksamkeit der comprimirten Luft gegründete Maschine hat einige Aehnlichkeit mit einem ungleich mehr bekannten, auf der Wirkung der Luftverdünnung durch Heber beruhenden Apparate. Dieser letztere, die *vervielfachende Hebermaschine* genannte, wurde durch DETROUVILLE erfunden und von der Akademie zu Paris wegen des verführerischen Resultats einer Berechnung ihres Effects sehr empfohlen[1]. Allein HACHETTE liefs 1806 ein Modell derselben für die *École polytechnique* verfertigen und fand sie durchaus unbrauchbar, weil es auch bei bester Ausführung unmöglich ist, die Behälter mit verdünnter Luft gegen das Eindringen der äufsern hinlänglich zu schützen oder den Einflufs der aus dem Wasser entwickelten zu beseitigen. Hieraus folgert derselbe nicht mit Unrecht, dafs man bei hydraulischen Maschinen mit grofser Sicherheit auf die Wirkung der comprimirten Luft rechnen könne, die der verdünnten aber überall vermeiden müsse[2].

Ein bereits oben[3] unter dem Namen der *Mayer'schen Röhre* beschriebener Apparat beruht gleichfalls auf der Wirkung der verdünnten Luft und steht daher einem ähnlichen nach, welchen HACHETTE das hydraulische Rohr (*canne hydraulique*) nennt. In einfachster Gestalt besteht dasselbe aus einer blofsen Röhre, welche aber unten mit einem Ventile versehn ist, statt dafs sich bei jenem Apparate das Ventil oben befindet. So wie die Vorrichtung in elegantester Form bei einem Modelle unter den Apparaten der polytechnischen Schule hergestellt ist, besteht sie aus der Röhre CD, unten mit dem Ventile S, oben mit dem Windkessel B, um einen beständigen Ablauf aus dem Rohre bei a zu erhalten. Das Rohr schwebt in den Ketten FH, EG, ist in der Mitte an dem Querbalken LM befestigt, welcher in einer Nuth vertical auf- und abwärts gleitet, und wenn das Rohr auf diese Weise vermittelst eines Hebelarms in die Höhe geschnellt wird und dann wieder herabsinkt, so steigt die Wassersäule im Innern, indem sie dieser Bewegung nicht schnell genug folgt, kann durch das Bodenventil nicht

Fig. 165.

1 Mém. de l'Ac. 1790. PRONY in Bullet. de la Soc. Philomath. 1800. Fevr. p. 92.

2 HACHETTE Traité des Machines. Par. 1828. p. 145.

3 Bd. I. S. 266. Fig. 48.

wieder zurücksinken und läuft daher oben aus a aus. Molard hat auf eine sinnreiche Weise den kürzern Schenkel eines Hebers unten mit einem solchen Ventile versehn, und wenn man also diesen Schenkel gleichfalls schnell in verticaler Richtung bewegt, so füllt sich der Heber, bis die Flüssigkeit aus dem längern Schenkel ausläuft. Auf einem ähnlichen Principe beruht auch die Maschine des Vialon, die mir jedoch einer ins Einzelne gehenden Beschreibung für den Zweck dieses Werks nicht werth zu seyn scheint[1].

6. Die *ungarische Maschine*, auch *Luftmaschine*, *schemnitzer Maschine* und Höll'sche *Maschine* genannt, welche J. C. Höll im Jahre 1753 beim Amalienschachte zu Schemnitz in Ungarn zur Förderung des Wassers in Gang brachte[2], hat eine vorzügliche Celebrität erlangt und verdient daher noch besonders kurz beschrieben zu werden. Das bei ihr zum Grunde liegende Princip ist kein anderes als dasjenige, wonach der Heronsbrunnen construirt wird, mit dem Unterschiede, dafs bei letzterm das Wasser aus dem obern Gefäſse in die Höhe springt, wenn die aus dem untern aufsteigende Luft darauf drückt, bei der erstern aber das umgekehrte Verhältnifs statt findet. A ist ein Behälter mit Wasser, 136 F. über dem Sumpfe, aus welchem das Wasser abfliefsen soll, welche Höhe jedoch willkürlich vermehrt werden kann. Aus diesem geht das Rohr bb von 4 Zoll Durchmesser in den kupfernen Cylinder B bis auf 4 Zoll vom Boden herab, dessen Höhe 8,5 F., Durchmesser 5 F. und Metalldicke 2 Z. beträgt. Im obern Deckel desselben befindet sich das Rohr aa mit dem Hahne f, über dem Boden ein zweites dd mit einem grofsen Hahne e, und an der entgegengesetzten Seite geht das Rohr hhh in den Deckel des untern Gefäſses C zu 96 F. Tiefe herab. Letzteres ist 6,5 F. hoch, hat 4 F. im Durchmesser und 2 Z. Metallstärke, also ungefähr 83 Kubikfufs Inhalt oder nahe die Hälfte des obern von 170 Kub. Fufs. Vier Zoll über dem Boden dieses letztern Gefäſses ist die Mündung des Steigrohrs nnn von gleichfalls 4 Zoll Durchmesser, welches

Fig. 166.

1 Hachette a. a. O. p. 178.

2 Kurzgefaſste Beschreibung der bei dem Bergbau zu Schemnitz in Nieder-Hungarn errichteten Maschinen u. s. w., verf. von Nic. Poda cet., herausgeg. von Ignatz Edlen von Born. Prag. 1771. Auch in Neue phys. Belustigungen. Bd. II. S. 57.

das gehobene Wasser in das Gefäfs O ausschüttet, wohin das Wasser aus dem Rohre d d gleichfalls fliefst, um durch den Stollen abzulaufen. Das Spiel der Maschine wird hiernach leicht begriffen. Es sey nämlich das Gefäfs B mit Wasser gefüllt, das Gefäfs C aber leer, die Hahnen c, g, f, m, k geschlossen, der Hahn e aber werde geöffnet, so strömt das Wasser sowohl durch eignen Druck als auch durch die über ihm comprimirte Luft geprefst mit grofser Gewalt aus dem Rohre d. Weil aber die Compression der Luft nicht ausreicht, bis alles Wasser ausgeflossen ist, so werden demnächst die Hahnen f, m und k gleichzeitig geöffnet, damit der Rest des Wassers aus d auslaufen, das Gefäfs C aber während des Entweichens der Luft aus p mit Wasser aus dem Sumpfe L ganz gefüllt werde. Verlangt man den Luftdruck auf das Wasser in B nicht, so wird blofs der Hahn c geschlossen, die Hahnen f, e, m, k aber werden gleichzeitig geöffnet, um das Wasser aus B abfliefsen zu lassen und das Gefäfs C mit Wasser zu füllen. In jedem Falle werden die vier letztgenannten Hahnen geschlossen, wenn die Füllung des untern und die Entleerung des obern Gefäfses vollendet ist, der Hahn c aber wird geöffnet, wonach also das obere Gefäfs sich mit Wasser von 136 F. Druckhöhe füllt, die comprimirte Luft gelangt durch das Rohr h h h in das untere Gefäfs, treibt das enthaltene Wasser durch das Rohr n n in die Höhe, so dafs es in O abfliefst, worauf das beschriebene Spiel der Maschine aufs Neue beginnt. Hierbei ereignet sich dann die bekannte merkwürdige Erscheinung, dafs gegen das Ende des Ausfliefsens, wenn die aufserordentlich comprimirte Luft mit dem letzten Antheile von Wasser aus dem Steigrohre n n entweicht, das Wasser am Rande der Röhre in Eis verwandelt und durch die Luft mit grofser Gewalt fortgeschleudert wird, oder dafs ein gegen die Mündung des Rohrs gehaltenes nasses Tuch im Augenblicke gefriert, wovon die Ursache in der Absorption der Wärme liegt, die in Folge der starken Expansion der Luft statt findet. Die Steuerung der Hahnen geschieht bei dieser Maschine durch Arbeiter und Boswell hat daher einen Mechanismus angegeben, wodurch eine Selbststeuerung derselben erzielt wird[1]. Eine solche Vorrichtung wäre allerdings nütz-

1 Nicholson's Journ. of Nat. Phil. T. I. Vergl. Hachette Traité élém. des Machines. Par. 1828. p. 151.

lich, da diese Maschine überhaupt sehr der Beachtung werth ist, insofern sie auch an solchen Orten in Anwendung kommen kann, wo die Localität keine andere gestattet; inzwischen scheint mir Boswell's Vorrichtung zu künstlich und nicht sicher genug zu seyn, weswegen auch, so viel ich finde, keine Anwendung davon gemacht worden ist. James Hunter[1] hat eine ähnliche Maschine mit Selbststeuerung angegeben, sie löst aber nur das viel leichtere Problem, Wasser aus einem in der Mitte befindlichen Kasten vermittelst eines Abflusses nach unten in einen beträchtlich höheren zu heben. Ein ähnlicher Vorschlag von v. Derschau[2] ist niemals, so viel mir bekannt, in Ausführung gebracht worden[3].

Pyrometer.

Pyroskop, Hitzemesser; *Pyrometrum*; Pyromètre; *Pyrometer*.

Durch den minder gebräuchlichen Ausdruck *Pyroskop* (von *πῦρ* das Feuer und *σκοπέω* ich sehe) bezeichnet man Werkzeuge, welche das Vorhandenseyn höherer Hitzegrade anzeigen, und eben so sind die *Pyrometer* solche Apparate, mit denen die Intensität oder Gröſse der Hitze (etymologisch das Feuer oder die Wirkung des Feuers) gemessen wird. Unter denjenigen Flüssigkeiten, deren man sich zu Thermometern, also zu Meſswerkzeugen der Wärme überhaupt, bedient, liegt der Siedepunct beim Quecksilber am höchsten, und man benutzt diese Flüssigkeit daher auch für diejenigen Temperaturen, welche über den Siedepunct des Wassers hinausgehn, bis sie demjenigen Puncte nahe kommen, bei welchem dieses

1 Edinb. Phil. Journ. N. I. p. 79.

2 Karsten Archiv für den Bergbau. Bd. XIII. S. 35.

3 Auſser den gelegentlich erwähnten Werken verdienen unter der zahlreichen Menge von denen, die über Wasserhebungs-Maschinen handeln, noch genannt zu werden: J. Leupold Theatrum machinarum hydraulicarum. Desaguliers Cours de physique expérimentale. T. II. F. A. Eytelwein Handbuch d. Mechanik fester Körper u. d. Hydraulik. Berl. 1801. 2te Aufl. Leipz. 1823. Borgnis Traité complet de mécanique appliquée aux arts. Des machines hydrauliques. Par. 1819. 4.

Metall selbst siedet. Die atmosphärische Luft (wie die permanenten Gasarten überhaupt) verändert ihren Aggregatzustand bei den gröfsten bekannten Hitzegraden nicht, und da ihre Ausdehnung den Wärmezunahmen stets proportional bleibt, so ist sie hiernach der geeignetste Körper, um als Mafs willkürlich hoher Wärmegrade zu dienen; allein da ein gegebenes, den Einwirkungen der Wärme auszusetzendes Volumen derselben allezeit durch einen andern festen oder flüssigen Körper eingeschlossen seyn mufs, die gleichzeitige Einwirkung der Wärme auf diesen letztern aber nicht zu umgehn ist, so hat man früher auf ihre Benutzung zu pyrometrischen Werkzeugen gar nicht Bedacht genommen, und blofs in den neuesten Zeiten hat es die weit fortgeschrittene Technik möglich gemacht, dieselbe für diesen Zweck zu benutzen.

Die ältern sogenannten Pyrometer, z. B. von Musschenbroek, Ellicot, Mortimer, Smeaton u. a., bestehn insgesammt aus metallnen Stangen, und dienen nicht sowohl dazu, die Wärme, als vielmehr die Ausdehnung jener Metalle durch diese zu messen, verdienen also ihren Namen durchaus nicht. Eben daher sind sie bei der Untersuchung über die Ausdehnung der Metalle bereits beschrieben worden[1] und können daher hier füglich übergangen werden.

Bei der grofsen Wichtigkeit, verschiedene höhere Grade der Hitze, z. B. die Schmelzpuncte der meisten Metalle, die zum Roth- und Weifsglühn, zum Brennen des Porzellans u. s. w. erforderlichen Temperaturen kennen zu lernen, versprach im Jahre 1782 die Ankündigung Wedgwood's[2] einen grofsen Gewinn, als derselbe eine eigenthümliche Thonart aufgefunden zu haben versicherte, mittelst deren die höchsten erreichbaren Hitzgrade gemessen werden könnten. Früher hatte derselbe versucht, die Intensitäten des Feuers aus den Farbenveränderungen zu bestimmen, welche dasselbe in Mischungen aus Eisenoxyd und Thon hervorbringt, ohne jedoch hierdurch ein

---

1 S. Art. *Ausdehnung* Bd. I. S. 560. Vergl. *Wärme.*

2 Phil. Trans. T. LXXII. p. 305., übers. im Journ. de phys. T. XXX. p. 299. Beschreibung und Gebrauch eines Werkzeugs hohe Hitzegrade zu messen u. s. w. von J. Wedgwood. Aus d. Engl. Lond. 1786. Schon Mortimer äufserte 1744, dafs grofse Hitzegrade durch Zusammenziehung von Pfeifenthon mefsbar seyn müfsten. Phil. Trans. T. XLIV. p. 672.

genügendes Resultat zu erhalten; weit angemessener für den Zweck dieser Messungen fand er dagegen die Verminderung des Volumens bei allen Thonarten durch die Hitze, vom schwachen Glühen an bis zur gänzlichen Verglasung der Massen, also bis zum äufsersten, damals erreichbaren Grade der Hitze. Eine leicht sich darbietende Schwierigkeit, nämlich stets Thon von gleicher Beschaffenheit in genügender Menge zu haben, glaubte er mit Leichtigkeit durch die bedeutend mächtigen Thonlager zu beseitigen, die sich in Cornwallis finden und schlug daher vor, eine beträchtliche, für undenkbar lange Zeiten genügende Quantität dieses Thons auszugraben, stark durch einander zu mengen und aufzubewahren, was bei der Wichtigkeit der Sache auch damals wohl unfehlbar wirklich geschehn ist. Von dieser Masse sollten Cylinder durch Oeffnungen in einer Metallplatte geprefst und dann von der erforderlichen Länge abgeschnitten werden; weil aber hierdurch wegen ungleicher Weichheit der Substanz die Gröfse der Cylinder für eine so feine Messung nicht genau genug wurde, so schien es ihm besser, kleine Parallelepipeda in eignen metallnen Formen zu pressen und diesen erst nach dem Trocknen und einem vorläufigen, bis zur anfangenden Glühhitze reichenden Brennen die gehörige Form zu geben, damit die Stücke insgesammt gleich und so hart würden, dafs sie leicht zu versenden wären. Wedgwood gab auch zugleich die Idee an, auf einer massiven Messingplatte zwei Leisten von eben diesem Metalle einander fast parallel, jedoch etwas convergirend, zu befestigen, den fertigen Thonkörper dazwischen zu schieben und den Punct, wohin er dann reichte, mit Null zu bezeichnen, von hier an aber die Grade auf die Leisten dahin aufzutragen, wohin die durch Hitze geschwundenen Stücke gelangen mufsten. Nach seiner anfänglichen Idee sollten diese Leisten zwei Fufs lang seyn; weil aber hiernach die Scale eine zu grofse Länge erreichte, so schien es besser, dieselben zu halbiren und drei Leisten mit gleichmäfsig abnehmenden Abständen in Anwendung zu bringen. Wiederholte Versuche schienen aufserdem zu beweisen, dafs diese Thonart sich zu der gesuchten Bestimmung ausnehmend eigne, indem die Thonstücke, gehörig gebrannt, die schnellsten Abwechslungen der Hitze, sogar auch bei ungleichem Feuchtigkeitszustande, ertrugen und selbst glühend ins Wasser

geworfen ihr Volumen nicht änderten. Die Messung schien hiernach also mit aufserordentlicher Leichtigkeit und Sicherheit zu geschehn, indem man mehrere solche pyrometrische Körper in kleinen geeigneten Tiegeln der Einwirkung des zu prüfenden Feuers aussetzen, sie nach einander herausnehmen, sogleich im Wasser abkühlen und durch Einschieben zwischen die Leisten den erreichten Grad der Hitze bestimmen sollte.

Wedgwood gab zwar sogleich die Resultate einer Menge von Messungen an, die er mit diesem neuen Pyrometer angestellt hatte, allein es liegt in der Natur der Sache, dafs diese ohne allen Werth seyn mufsten, so lange das Verhältnifs seiner Grade zu denen eines bekannten Thermometers nicht ausgemittelt war, was denn durch ihn auch sehr bald geschah[1]. Das hierbei angewandte Verfahren bestand darin, dafs Wedgwood sich eine Scale aus convergirenden Leisten einer Thonmasse verfertigte, zwischen diese ein genau gearbeitetes Stück Silber schob und die Grade, die letzteres durch seine Ausdehnung zwischen diesen erreichte, mit denen eines Fahrenheit'schen Quecksilberthermometers verglich. Auf diese Weise fand er durch anscheinend vorsichtig angestellte Versuche, dafs von 50° F. bis zum Siedepuncte des Wassers 20°,25 F. und vom Siedepuncte des Wassers bis zum Siedepuncte des Quecksilbers 20° F. einem Grade der neuen Hülfsscale zugehörten, eine Uebereinstimmung, die wohl nicht genauer seyn konnte. Indem auf diese Weise eine Zwischenscale zwischen der des Quecksilberthermometers nach F. und zwischen der Scale des Thonpyrometers durch diejenige erhalten war, womit die Ausdehnung des Silbers gemessen wurde, so mufste es hiernach leicht seyn, jene beiden auf einander zurückzuführen, woraus sich dann ergab, dafs der Nullpunct der Wedgwood'schen Scale mit 1077°, 5 nach Fahrenheit zusammenfiel und dafs 130° der Fahrenheit'schen Scale einem Grade der erstern gleichkamen.

Nachdem die bis auf den heutigen Tag noch gangbaren Bestimmungen der höhern und höchsten Hitzegrade durch Wedgwood bereits bekannt gemacht worden waren, zeigte er

---

1 Phil. Trans. LXXIV. 385.

selbst an[1], dafs die bisher von ihm angewandten, in einer metallnen Form geprefsten Parallelepipeda von Thon sich nicht allseitig gleichmäfsig zusammenzögen, sondern in den mittlern Theilen mehr schwänden, als in den äufsern, die bei der Verfertigung compacter geworden waren. Um diesem Uebelstande zu begegnen, verwarf er daher jene Form und wählte die später gebräuchliche eines kurzen Cylinders mit einer der Axe parallel laufenden geraden Fläche, worauf sie beim Einschieben zwischen die Leisten ruhten. Aufserdem fielen diese Cylinder bei der Verfertigung nicht insgesammt so aus, dafs sie genau auf den Nullpunct in der Scale pafsten, allein solche wurden dennoch nicht verworfen, sondern mit derjenigen Zahl der Grade bezeichnet, um welche sie über diesen Anfangspunct der Scale hinausragten oder hinter ihm zurückblieben, welche Zahlen man daher stets auf den ächten Cylindern findet und beim Gebrauche in Rechnung bringen mufs. Die kleinen Quantitäten von Luft, welche in dem Thone nach dem Formen desselben dennoch zurückbleiben, liefsen sich durch lange fortgesetztes anfängliches Zusammenkneten der Masse fortschaffen, aber Wedgwood entdeckte als unzweifelhaft, dafs die aus den später und an verschiedenen Stellen sorgfältig herausgenommenen Thonmassen verfertigten Cylinder eine von der der erstern abweichende Zusammenziehung erlitten, wodurch also die erwartete Genauigkeit der Messungen mit diesem sinnreich erfundenen Apparate schon frühzeitig durch ihn selbst zweifelhaft gemacht wurde. Um dieser Ursache von Fehlern zu entgehn, machte Wedgwood eine künstliche Zusammensetzung aus der Porzellanerde von Cornwallis und reiner Thonerde, die er aus Alaunerde bereitete, wobei er bemerkt, dafs auch andere Porzellanerden, die frei von Kalk und Eisen sind, gleichfalls zu pyrometrischen Cylindern benutzt werden könnten.

Wedgwood hat sein Pyrometer ohne Zeichnung blofs beschrieben, man findet dasselbe aber in verschiedenen Werken gezeichnet[2] und aufserdem ist es den meisten Physikern aus

---

1 Phil. Trans. LXXVI. 390.

2 Sehr genau mit vollständiger Beschreibung in Scherer's Journ. für Chemie. Bd. II. S. 50. Vergl. G. VIII. 233. Geifsler's allgem. Repert. zur pract. Beförd. d. Künste u. Manuf. Bd. II. S. 126. Journ. encycl. 1785. Oct.

der Ansicht irgend eines der vielfach verbreiteten Fxemplare bekannt [1]. Auf einer massiven Messingplatte, etwas über 6 par. Zoll lang, 2,5 Z. breit und etwa 1,5 Lin. dick, sind die Leisten ab, cd, ef aufgelöthet, deren Abstand am Anfange 0,5, am Ende 0,3 Zoll beträgt. Auf den beiden äufsersten Leisten befindet sich die Theilung der Scale, die in der ersten Abtheilung von 0° bis 120°, in der zweiten von 120° bis 240° fortläuft. Zwischen diese werden die Thoncylinder geschoben, wie die Zeichnung eines verticalen, auf ihre Axe lothrechten Durchschnitts angiebt. Sie sind fast 0,5 Z. lang, haben etwas mehr als die doppelte Höhe der zum Messen bestimmten Leisten und berühren daher die sehr scharfen Ränder der Lineale unterhalb einer durch ihre Axe mit ihrer etwas abgeplatteten Seite parallelen Ebene, damit diese Berührung nach dem Schwinden in der Ebene der Axe selbst statt finden möge.

Fig. 167.

Fig. 168.

Die gebräuchlichen Pyrometer waren und sind noch gegenwärtig sämmtlich von der hier beschriebnen Form, und der veränderte Bau des Instruments, welchen Cavallo [2] in Vorschlag gebracht hat, ist nie allgemein in Gebrauch gekommen. Hiernach besteht dasselbe aus zwei über einander verschiebbaren Linealen mit zwei beweglichen, durch Schrauben festzustellenden Backenstücken, zwischen welche der Thoncylinder gelegt und dann der Nonius auf 0 gestellt wird. Bringt man den durch die gemessene Hitze geschwundnen Cylinder nachher wieder zwischen die Backen und schiebt man die obere Leiste über der untern hin, bis die Backenstücke den Cylinder berühren, so zeigt der Nonius und die Scale die Grade des Wedgwood'schen Pyrometers und Theile derselben, um welche sein Volumen geschwunden ist.

Fig. 169.

Wedgwood's Pyrometer wurde von vielen, namentlich französischen, Gelehrten mit gröfserer oder geringerer Sorgfalt geprüft [3], von mehrern derselben, unter denen ich blofs Pictet [4]

1 Die folgende Beschreibung ist nach einem solchen ächten Exemplare gemacht.

2 Aus den Ann. des Arts in Voigt's Magazin. Bd. V. Heft 2. S. 129.

3 Gehlen neues Journ. Bd. II. S. 637.

4 Biblioth. Brit. T. IV. p. 413.

und DE SAUSSÜRE[1] nennen will, mit aufserordentlichem Beifalle aufgenommen, andere dagegen fanden[2], dafs es grofse Anomalieen gebe, und BRONGNIART[3] behauptete sogar, es verdiene durchaus kein Vertrauen. Am ausführlichsten und gründlichsten wurde dasselbe indefs geprüft durch GUYTON DE MORVEAU[4]. Dieser zeigte, dafs vor allen Dingen die Ausdehnung des Silbers, worauf der Erfinder die Vergleichung seiner Pyrometerscale mit der des Fahrenheit'schen Thermometers gegründet habe, zu ungewifs und durch WEDGWOOD keineswegs richtig bestimmt sey. Aufserdem bezweifelt er, dafs es eine erdige Mengung von dem constanten Gehalte von 0,6 Thon gebe, wie auch daraus hervorgehe, dafs WEDGWOOD selbst später die ursprünglich gebrauchte Masse nicht weiter gefunden habe und durch diesen Umstand gezwungen worden sey, Thon zuzusetzen. Eine in mehrern Zeitschriften[5] enthaltene Analyse gebe an, dafs die Cylinder blofs 0,25 Thon, 0,64 Kieselerde und 0,06 Kalk enthalten. VAUQUELIN dagegen habe 47,35 Kieselerde, 44,29 Thon und 8,36 Wasser in ächten und unmittelbar vom Erfinder erhaltenen Cylindern gefunden. GUYTON selbst fand in diesen 54,7 Thon, 43,7 Kieselerde und 1,531 Verlust, VAUQUELIN aber in andern, aus derselben Quelle gleichzeitig erhaltenen, 25,0 Thon, 64,2 Kieselerde, 6,0 Kalk, 0,2 Eisenoxyd, 6,2 Wasser und eine schwache Spur von Talk[6]. Deswegen kam GAZERAN[7] auf die Idee, dafs eine in Frankreich gefundene Porzellanerde die englische ersetzen könne. Er fand in derselben 34,09 Thon, 43,11 Kieselerde, 19,25 Wasser, 2,3 Kalk, 0,75 Eisenoxyd und 0,5 Verlust, weswegen er vorschlug, die pyrometrischen Cylinder aus 34 reiner Thonerde und 43 Kieselerde künstlich zusammenzu-

---

1 Journ. de Phys. Ann. 1794. p. 10.

2 Journ. des Mines. T. XIV. p. 42.

3 Traité élém. de Mineral. T. I. p. 514. T. II. p. 81.

4 Essay de Pyrometrie. Par. 1808. Mém. de l'Inst. 1808 u. 1811. Ann. de Chim. LXXIV. 47 u. 129. LXXVIII. 73.

5 Ann. des Arts et manuf. Ann. X. p. 302. Scherer's Journ. a. a. O.

6 Andre Analysen dieser Thonkugeln, welche nicht völlige Uebereinstimmung gaben, übergehe ich.

7 Ann. des Arts. T. VII. p. 303. Ann. de Chim. XXXVI. 100. G. VIII. 233.

setzen, weil man sie auf diese Weise überall leicht und von ganz gleichmäſsiger Mischung erhalten könne. Allein Guyton de Morveau erinnert dagegen mit Recht, daſs es hauptsächlich auf die Regelmäſsigkeit und Gleichheit der Zusammenziehung durch die Hitze ankomme, die nicht bei den verschiednen Porzellanerden gleichmäſsig gefunden werde und nicht ausschlieſslich von den Bestandtheilen, sondern zugleich auch von der Art und Innigkeit der Mischung abhänge. Es ergab sich auch bald durch directe Versuche, daſs die unächten, künstlich gemachten Cylinder rücksichtlich ihrer Zusammenziehung durch Hitze weder unter einander, noch mit den von Wedgwood erhaltnen übereinstimmten. Aber de Saussüre[1] wies auch nach, daſs selbst die ächten Cylinder in gleichen Hitzegraden ungleiche Zusammenziehungen erlitten, und dieser Vorwurf, welcher den Thonpyrometern auch von verschiednen andern Seiten gemacht worden, also gewiſs begründet ist, muſs daher von jedem Versuche, irgend einen andern Körper auf gleiche Weise anzuwenden, abschrecken, weil es dabei immerhin ungewiſs bleibt, ob die Zusammenziehung überall gleich und gleichmäſsig erfolgt und die angewandte Masse stets von unveränderter Beschaffenheit zu haben ist, denn anfänglich äuſserte Wedgwood über diese beiden nothwendigen Bedingungen rücksichtlich der Porzellanerde von Cornwallis nicht die mindesten Zweifel. Eben daher scheint auch der Vorschlag von Sivright[2], statt der Thoncylinder solche von chinesischem Speckstein (Agalmatolith) zu nehmen, weil diese sich durch Hitze gleichmäſsig und regelmäſsig zunehmend zusammenziehn, auch den höchsten Hitzegraden widerstehn sollen, überall nur wenig beachtet worden zu seyn.

Spätere Untersuchungen von Guyton de Morveau[3], verglichen mit den Resultaten, welche Kennedy, Thomson, J. Hall und d'Arcet erhalten hatten, ergaben noch augenfälliger die Fehler der von Wedgwood gegebnen Grundbestimmung seines Pyrometers, obgleich Guyton de Morveau übrigens die regelmäſsige Zusammenziehung der Cylinder nicht

1 Journ. de Phys. LII. 294.

2 Edinb. Phil. Journ. N. XI. p. 180.

3 Mém. de l'Inst. Ann. 1811. 2me sem. p. 89. Abgekürzt in Ann. de Chim. XC. 113.

geradezu und unbedingt in Abrede stellt, jedoch diesemnach ganz abweichende Angaben der zum Schmelzen der Metalle und sonst erforderlichen Hitzegrade erhält. Nach ihm nämlich fängt der Nullpunct der Wedgwood'schen Scale schon bei 510° F. (270° C.) statt 1077° F. an, und jeder Grad jener Scale correspondirt mit 61°,2 F. (34° C.) statt 130° F., welches übrigens ungleich besser mit den spätern und hiervon unabhängigen Bestimmungen Daniell's übereinstimmt. Prüft man die Angaben von Guyton de Morveau, insbesondere mit Rücksicht auf die spätern Arbeiten Daniell's, so ergiebt sich durch die Menge der beigebrachten Thatsachen und ihre Uebereinstimmung unter einander, daſs das Wedgwood'sche Pyrometer mit der vom Erfinder gegebnen Scale und deren Werthen nicht füglich als sicher anzunehmen sey. Wollte man statt dessen die verbesserte Scale von Guyton substituiren, so gäbe dieses zwar höchst wahrscheinlich richtigere Resultate, allein es fehlt auch dann auf jeden Fall die bei einem Meſswerkzeuge unerläſslich nothwendige Sicherheit, und da der Erfinder desselben sogleich nach der ersten Bekanntmachung die Ungleichheit der vorhandenen Porzellanerde selbst zugestand, das Instrument auch später gegen die gemachten Einwendungen nicht in Schutz nahm, vielmehr offen bekannte, daſs seine Pyrometercylinder sich nicht mehr in dem nämlichen Maſse, als früher, zusammenzögen, weil die ganz gleichförmige Porzellanerde nicht mehr gefunden werde[1], so muſs dieses Pyrometer aus der Reihe der genügenden Apparate gestrichen werden, wie einfach und sicher auch das Princip seyn mag, worauf es beruht, so lange die vollkommene Gleichheit der zu den Cylindern genommenen Masse nicht mit Gewiſsheit nachgewiesen werden kann.

Guyton de Morveau prüfte das eben beschriebene Pyrometer hauptsächlich durch ein von ihm selbst erfundenes, aus Platin und hart gebranntem Thone verfertigtes[2]. Dasselbe besteht aus einer Platte von hart gebranntem Thone A mit einer eingelegten Platinstange d, 45mm (1 Z. 7,948 Lin.) lang, 5mm (2,216 Lin.) breit und 2mm (0,887 Lin.) dick, welche mit

Fig. 170.

1 So erzählt J. C. Fischer in: Tagebuch einer Reise über Paris nach London. Aarau 1816. 8. S. 107.

2 Ann. de Chim. XLVI. 276. Französ. Ann. cet. von Pfaff und Friedländer. 1807. St. IX. S. 80. Nicholson Journ. T. VI. p. 89.

dem einen abgerundeten Ende gegen den Rand des Falzes oder der Vertiefung gestemmt ist, in welcher sie liegt, mit dem andern gegen den kürzern Hebelarm der Platinnadel ab drückt, die in b ihren Drehpunct hat. Der kürzere Arm dieser Nadel ist 2,5 Millim. (1,108 Lin.), der längere 50^{mm} (1 Z. 10,165 Lin.) lang, also findet hierbei das Verhältniſs von 1 zu 20 statt oder die Ausdehnung der Platinstange wird durch die ungleiche Länge der Hebelarme zwanzigfach vermehrt. Auf der Platte F befindet sich eine Scale und die Spitze der Nadel a ist mit einem Nonius versehn, durch welchen Zehntel der Grade abgelesen werden. Wenn man also diese Theile der Grade mit der absoluten Ausdehnung der Stange d vergleicht, so erhält man hierdurch den 200sten Theil derselben, und da nach der Bogentheilung in 400 Grade für einen Radius von 50^{mm} ein Grad 0,78538 Millim. beträgt, wovon 0,078538 Millim. vermittelst des Nonius abgelesen werden, so beträgt ein solcher Theil gegen die vermittelst des Hebels zwanzigfach vermehrte Länge der Stange d von 45^{mm} Länge $\frac{900}{0,078538} = 11459$ oder den 11459sten Theil des Ganzen[1]. Damit aber die Nadel beim Herausnehmen des Instruments aus dem Ofen nicht zurückgeht, sondern auf dem äuſsersten erreichten Puncte stehn bleibt, wird ihre Spitze durch die Feder s festgehalten.

Das hier beschriebene Pyrometer empfiehlt sich ausnehmend sowohl durch die Einfachheit seiner Construction, als auch durch die Feinheit seiner Scale und die hieraus folgende Empfindlichkeit. Wenn man daher annehmen dürfte, daſs die zu gröſserer Sicherheit in eingelassenen Stücken von Platin befestigten Stifte nicht wankend würden, also daſs die Drehungen und Bewegungen ohne Schlottern erfolgen könnten und die Stangen in der Hitze nicht erreichten, so könnte dieses Werkzeug nicht bloſs sichere, sondern selbst auch die

---

1 In der französischen und deutschen Beschreibung des Instruments ist nur die Hälfte dieser Gröſse zu 5730 angegeben, indeſs sehe ich nicht ein, wie dieses aus den zum Grunde liegenden Bestimmungen folgt. Uebrigens müssen bei dem kleinen Halbmesser die Bogentheile so klein werden, daſs das Ablesen derselben nur vermittelst der Loupe geschehn kann.

feinsten und genauesten Resultate geben, da die demselben zum Grunde liegende Ausdehnung des Platins durch Wärme mit grofser Bestimmtheit aufgefunden ist. Allein wenn man auch diese keineswegs begründeten Voraussetzungen zugestehn wollte, so steht demselben dennoch die Ungewifsheit entgegen, ob nicht die aus Thonmasse verfertigte Platte in der Hitze eine Veränderung erleidet, die den richtigen Gang des Apparats nothwendig aufheben müfste. Schwerlich würde man diesem Fehler begegnen können, wenn man die letztere Veränderung auszumitteln und in Rechnung zu nehmen suchte, oder wenn man zu der Gewifsheit gelangte, dafs die Ausdehnung oder Zusammenziehung der Thonmasse durch Hitze nach dem Erkalten unverändert bliebe. Leider sind alle diese Bedingungen in der Wirklichkeit nicht wohl zu erreichen, und hierin liegt ohne Zweifel der Grund, warum dieses Pyrometer blofs von dem Erfinder praktisch angewandt worden zu seyn scheint.

Im Wesentlichen ist dasselbe indefs das nämliche, dessen sich Brongniart zum Ausmessen der Hitze in den Porzellanöfen zu Sèvres bediente und wovon Biot [1] blofs eine ungefähre Beschreibung mittheilt; denn die messende Substanz war bei diesem gleichfalls eine Stange von Platin, welche durch ihre Ausdehnung den kurzen Hebelarm einer langen Platinnadel in Bewegung setzte, deren Spitze auf einem getheilten Bogenstücke die Gröfse der Verlängerung angab. Die Trägerplatte des Instruments bestand bei diesem entweder aus einer sehr unschmelzbaren Thonmasse, oder aus Graphit; es ist mir jedoch nicht bekannt, ob und welche richtige Resultate er vermittelst desselben erhalten hat.

In den neuesten Zeiten hat sich vorzüglich J. F. Daniell [2] mit der Construction der Pyrometer beschäftigt und als Mittel der Messung gleichfalls das Platin angewandt. Dasjenige Werkzeug, dessen er sich hauptsächlich zu den zahlreichen von ihm bekannt gemachten Messungen bediente, besteht aus einem ungefähr 24 Zoll langen Rohre a b c von feuerfestem Thone und Graphit, welches bei a verschlossen, bei c offen

Fig. 171.

1 Précis élém. de Phys. 3me ed. T. I. p. 228. Traité I. 149.

2 Journal of Sciences cet. N. XXII. p. 309. Bibl. univ. XVIII. 289.

und bei b etwas aufgetrieben ist. Diese Röhre ist genau passend in die messingne Hülse d geschoben, worauf die Träger der Scale fghe befestigt sind. Im Innern der Röhre ist ein Platindraht 10,2 Zoll lang, 0,14 Zoll dick in a befestigt, ruht in b auf einem kleinen Querdrahte und ist mit dem andern Ende bei b mit einem zweiten Drahte, gleichfalls von Platin, verbunden, welcher jedoch weit dünner ist, nämlich nur 0,01 Zoll dick. Letzterer tritt in der Gegend der anfangenden Scale, bei e, aus der Röhre, ist daselbst einigemal um die Welle eines kleinen gezahnten Rads geschlungen, mit einem Schräubchen befestigt, wieder rückwärts gezogen, zwischen m und n schraubenförmig aufgewunden, um federnd anzuziehn, und ist endlich bei n an die messingne Hülse befestigt. Die Welle des kleinen Rads hat 0,062 Zoll Durchmesser, die Zähne des Rads aber fassen in ein feines Getriebe, an dessen Axe der Zeiger festsitzt, welcher auf der Scale die Grade der Hitze anzeigt. Anstatt den Draht selbst um die Welle zu schlingen, hat man es später vorgezogen, ihn an einen seidnen Faden zu knüpfen, diesen um die Welle zu wickeln, dann mit einer kleinen Spiralfeder zu verbinden und letztere bei n zu befestigen. Die Scale besteht aus einem in 360 Grade getheilten ganzen Kreise, und man graduirt den Apparat, indem man das Ende desselben verschiednen Temperaturen aussetzt und hiernach den Werth der Grade bestimmt, die der Zeiger durchläuft, welcher den Unterschied der Ausdehnung des Platindrahts und seiner Hülle angiebt. Am geeignetsten soll es seyn, die Röhre ab mit Quecksilber zu füllen und vom Frostpuncte des Wassers bis zum Siedepuncte des Quecksilbers die vom Zeiger durchlaufnen Grade zu messen, deren jeder bei einem vom Erfinder gebrauchten Exemplare 7° F. betrug, so dafs das Pyrometer also vom Gefrierpuncte an gerechnet 2520 Grade des Fahrenheit'schen Thermometers umfafst. Es ist dabei wohl nothwendig, die Hülle ab zuvor der stärksten Hitze auszusetzen, um ihre Güte zu prüfen, und sie nachher beim Gebrauche in hohen Temperaturen mit einem Ueberzuge zu versehn, damit sie sich nicht verglast und beim Abkühlen nicht springt; auch mufs man beim Graduiren dahin sehn, dafs das erhitzte Quecksilber den Platindraht nicht amalgamirt.

Das Pyrometer ist nach dieser Beschreibung im höchsten

Grade mangelhaft, und man begreift kaum, wie mit demselben überhaupt nur genäherte Resultate zu erhalten sind. Es dürfte hierbei nur wenig in Betrachtung kommen, dafs die Ausdehnung des Platins durch Wärme nicht stets regelmäfsig, sondern zunehmend ist, wonach also die angezeigten Grade den wirklichen Temperaturen voreilen müssen, aber ungleich bedeutender ist schon der Umstand, dafs man das Verhalten des gebrannten Thons in der Hitze gar nicht genau kennt, indem derselbe füglich bei anfangender Erhitzung an Volumen zunehmen und bei fortgesetzter wieder abnehmen kann, wodurch die Messungen im höchsten Grade unrichtig werden müfsten. Am wichtigsten aber ist der Umstand, dafs der zum Messen bestimmte Draht etwas über 10 Zoll Länge hat, das ganze Instrument etwa 24 Zoll lang angenommen, wonach es also ganz unbestimmt bleibt, der wievielste Theil desselben der zu messenden Hitze ausgesetzt wird. Hierzu kommt aber noch der Umstand, dafs in dem Falle, wenn die Hitze auf die ganze Länge dieses Drahts wirkt, auch das angeknüpfte Ende des dünnern Drahts durch dieselbe afficirt werden mufs, und man diesemnach nicht wissen kann, welche Länge desselben durch die Hitze ausgedehnt wurde. Indem aber alle diese Fehler unvermeidlich aus der Natur des Instruments hervorgehn, so folgt hiernach von selbst, dafs dieses Pyrometer auf die nothwendigen Erfordernisse der Sicherheit und Bestimmtheit gar keine Ansprüche machen kann.

Daniell hat seine pyrometrischen Untersuchungen später fortgesetzt und eine neue Construction seines Mefsapparats bekannt gemacht, den er ein registrirendes oder die Grade selbst aufzeichnendes Pyrometer (*registering pyrometer*) nennt[1]. Er bekennt selbst, dafs ihm bei der ersten Mittheilung seiner Abhandlungen die Arbeiten von Guyton de Morveau, namentlich die Construction des durch diesen vorgeschlagnen Platinpyrometers, gar nicht bekannt gewesen sey, bringt aber gegründete Einwürfe gegen dasselbe vor, hauptsächlich dafs der feine Zeiger und die Stifte der Winkelhebel in hohen Hitzegraden sich

1 Phil. Trans. 1829. p. 79. 1831. p. 257 u. 443. Hieraus sind die vom Verf. revidirten Abhandlungen aufgenommen in Phil. Mag. and Annals New Ser. T. X. p. 191. 268 u. 350. London and Edinb. Phil. Mag. N. III. p. 197. N. IV. p. 261.

biegen, ja selbst zusammenschweifsen müfsten, wonach also auf richtige Resultate gar nicht zu rechnen sey. Ueber sein eignes früheres Pyrometer urtheilt er, dafs es allerdings für wissenschaftliche Bestimmungen und in eigends gebauten Oefen angewandt werden könne, keineswegs aber dem Techniker für hohe Hitzegrade ähnliche Dienste leiste, als das gewöhnliche Thermometer für niedere. Guyton's verbesserte Bestimmungen des Wedgwood'schen Pyrometers, wonach der Nullpunct der Scale bei 517° F. liegen und 1° W. mit 62°,5 F. correspondiren solle [1], erzeugen dann eine ziemlich nahe Uebereinstimmung zwischen den mit dem Wedgwood'schen und dem Daniell'schen Pyrometer erhaltenen Bestimmungen hoher Hitzegrade, jedoch kann die Messung vermittelst der Thoncylinder wegen stets ungewifs bleibender Zusammenziehung derselben nie auf einen erforderlichen Grad der Genauigkeit Anspruch machen.

Das neue Pyrometer besteht aus dem der Hitze auszusetzenden Theile und dem eigentlichen Mefsapparate, welche beide einzeln für sich bestehn. Der erstere ist eine solide Stange Reifsblei oder ein aus einem gemeinen Graphittiegel ausgeschnittenes Stück DD, DD, 8 Zoll lang, 0,7 Z. breit und eben so dick. In diesen ist ein rundes Loch 7,5 Z. tief und 0,3 Z. weit gebohrt und zur Aufnahme der Platinstange ooq bestimmt. Auf dieser ruht der Index rt von Porzellan, welcher vor dem Versuche bis zur Berührung der Platinstange niedergedrückt wird, wodurch man die letztere zugleich fest gegen den Boden der Höhlung in dem Graphitstücke prefst. Die vierkantige Graphitstange ist am obern Ende in einer Länge von 0,6 Z. bis zur Mitte ihrer Höhlung weggeschnitten, so dafs die hierdurch gebildete Fläche mit jeder der beiden Seitenflächen genau einen rechten Winkel bildet, die eingesenkte Porzellanstange aber wird durch einen umgewickelten, durch den aus Porzellan bestehenden Keil s gestrafften, Platindraht festgehalten. Der Mefsapparat besteht aus einer Regel AA von Messing, auf deren unterer Seite die Schiene aa vermittelst der Schrauben b, b, auf der obern dagegen die kleine

Fig. 172.

Fig. 173.

1 Diese Bestimmungen weichen etwas von den oben mitgetheilten ab; es ist aber schwer, sie mit gröfster Schärfe aus den ausführlichen Untersuchungen aufzufinden.

Regel a' befestigt ist. Der Gebrauch des ganzen Instruments wird schon aus dieser Beschreibung klar. Befindet sich nämlich die Meſsstange (die zwar von jedem minder schmelzbaren Metalle gemacht seyn kann, am sichersten aber ein für allemal von Platin genommen wird) o o q in der Höhlung des Graphitstücks und ist der Index von Porzellan bis zur Berührung derselben gebracht, so drückt man den Zeiger C C nieder, legt die Regel A A an die Seite D D des Graphitstücks, schiebt den hervorragenden Theil a a unter dieselbe und das Stück a' über den obern Einschnitt, wodurch also der Meſsapparat an drei Flächen mit dem Graphitstücke zur genauen Berührung kommt. Zugleich drückt dann der kürzere Hebelarm h, welcher zur Erreichung einer genauern Berührung von polirtem Stahle gemacht ist, gegen den porzellanenen Index t r, und die auf dem Gradbogen abgelesenen Grade geben die Länge der Platinstange und des Index vor dem Versuche an.

Der Meſsapparat ist etwas künstlich construirt und erfordert daher noch eine nähere Erläuterung. Die Regel A A ist oben verlängert und zurückgebogen, am Ende d aber ist der Träger des Bogenstücks e e mit einem um das Centrum c beweglichen Scharniere befestigt, ohne Zweifel zu dem Zwecke, damit man durch untergelegte dünne Bleche das Bogenstück so weit heben kann, daſs der Nonius g auf o einsteht, wenn vor dem Versuche die Spitze des kürzern Hebelarms h die Oberfläche t des Index berührt, wodurch die Messung bequemer wird, obgleich man auch von jeder niedrigern Eintheilung zu einer höhern übergehn kann. Auf dem Träger B des Bogenstücks e e ist eine kleine Stahlfeder m m festgeschraubt, welche gegen einen Stift bei n drückt und den Träger des Nonius hebt, so daſs der Hebelarm h jederzeit mit der Fläche t in Berührung bleibt. Dieser Träger des Nonius C C ist um den Stift f drehbar, hat ein Verhältniſs der Längen beider Hebelarme von 1 zu 10; die Art der Theilung ist theils aus der Figur kenntlich, theils ist sie willkürlich und bedarf keiner weitern Erläuterung, minder kenntlich dagegen ist die Loupe i, die in der Zeichnung flach niedergelegt erscheint, zugleich aber um das Scharnier bei k und ein zweites bei l so bewegt werden kann, daſs man die Scale und den Nonius durch sie abliest.

Endlich ist der Gebrauch des Instruments hiernach von selbst klar. Man legt nämlich vor dem Versuche die Regel des Meſsapparats so genau an die Flächen des Graphitstücks, daſs die Flächen zur innigen Berührung kommen, wobei dann eigentlich der Nonius auf 0 einstehn muſs, wenn die Spitze h die obere Fläche des porzellanenen Index t berührt, obgleich er auch auf irgend einem andern Puncte der Theilung stehn kann. Alsdann wird der Meſsapparat weggenommen und das Graphitstück mit dem Platindrahte und dem porzellanenen Index der zu prüfenden Hitze ausgesetzt, wodurch der Index in Folge der Ausdehnung des in der Röhre befindlichen Platindrahts sich hebt, wegen der Reibung aber nach dem Erkalten nicht wieder zurückfällt. Der Meſsapparat wird dann abermals angelegt und der Nonius zeigt, wenn h wiederum mit t in Berührung gebracht ist, die erzeugte Verlängerung vermittelst der durchlaufenen Grade, wenn der Nonius vor dem Versuche auf 0° stand, unmittelbar, oder durch Subtraction der vor dem Versuche abgelesnen Grade von denen nach dem Versuche. Das Ziel des Ganzen ist also kein anderes, als die Ausdehnung des Platins durch Wärme mit gröſster Schärfe vermittelst einer Art von Fühlhebel zu messen und hiernach den erreichten Hitzegrad zu bestimmen. Es liegt sehr nahe bei der Sache, daſs man aus der bekannten Ausdehnung des Platins bei bestimmter Länge der zum Messen verwandten Stange dieses Metalls und dem gegebenen Verhältnisse der Hebelarme die vom Zeiger durchlaufenen Grade auf die eines bekannten Thermometers zurückführen könne.

Daniell hat eine Menge Messungen mit diesem Pyrometer angestellt, deren Resultate sowohl unter sich als auch mit andern Erfahrungen hinlänglich genau übereinstimmen, allein es ist dennoch auf keine Weise zu verkennen, daſs dasselbe unmöglich auf Zuverlässigkeit Anspruch machen könne. Die Gründe der Unsicherheit liegen hauptsächlich in der Ungewiſsheit der Einwirkung, welche die Hitze gegen das Graphitstück ausübt, indem dieses nothwendig gleichfalls, aber um eine unbekannte Gröſse, ausgedehnt werden oder auch schwinden muſs. Auſserdem aber kann es leicht kommen, daſs der umwickelte Platindraht in der Hitze länger wird und das ohnehin schwindende Porzellanstück den Index etwas weiter fortgleiten läſst, als die Ausdehnung der Platinstange dasselbe

treibt. Ganz diesem entgegengesetzt kann aber jener umwickelte Draht das Porzellanstück festhalten, indem er etwas gestreckt und federnd dasselbe beim Erkalten wieder zurückzieht. In jenem ersten Falle würde hiernach die Hitze zu grofs, im letzten dagegen zu klein gefunden werden. Nimmt man endlich hierzu, dafs auch das Verhalten des porzellanenen Index bei der Messung sehr in Betrachtung kommt, keineswegs aber mit völliger Sicherheit bestimmt ist, so liegen in allen diesen Bedingungen hinlängliche Gründe, dem Instrumente die zur scharfen Bestimmung so kleiner Gröfsen erforderliche Genauigkeit des Messens abzusprechen, obgleich Daniell sich bemüht hat, durch zahlreiche Versuche vermittelst der bekannten Ausdehnung verschiedner Metalle, die er als Mittel zu pyrometrischen Messungen benutzte, den Einflufs der Graphithülle und des porzellanenen Index auszumitteln und in Rechnung zu nehmen.

Neuerdings hat A. Neumann[1] die Construction eines Pyrometers aus Platin angegeben, welches mindestens bis zur Weifsglühhitze einen hohen Grad von Genauigkeit mit vorzüglicher Bequemlichkeit verbindet und alle bisher angegebene bei weitem übertrifft. Zwar ist dasselbe noch nicht wirklich ausgeführt, also auch nicht durch Versuche geprüft worden, allein der Bau desselben ist so deutlich, dafs sich jenes Urtheil mit einem hohen Grade der Sicherheit auf bekannte Thatsachen gründen läfst. Aufserdem hat dasselbe den Vorzug, dafs es von beliebigen Graden unter dem Schmelzpuncte des Eises bis zur Glühhitze alle Temperaturgrade anzuzeigen geeignet ist; aber eben aus diesem Grunde glaube ich dasselbe unter die Classe der Thermometer aufnehmen zu müssen, worauf ich daher hier verweise[2].

Gerade in diesem Augenblicke ist mir indefs ein Pyrometer bekannt geworden, welches nach wiederholten, von mir selbst, nebst dem Erfinder desselben, dem nachher mehrmals wegen seiner sinnreichen Verbesserungen der Luftpyrometer zu erwähnenden Petersen, angestellten Versuchen zwischen 0° bis 100° C. so ausnehmend genaue Resultate giebt, dafs es aus dieser Ursache, und da es obendrein sicher bis 800° C.,

---

1 Baumgartner u. v. Ettinghausen Zeitschrift Bd. X. S. 284.

2 S. Art. *Thermometer*; *Metallthermometer*.

also bis zur Glühhitze, nach angestellten Proben gebraucht werden kann, vielleicht aber bis an die Grenze seiner Scale, nämlich von — 20° C. bis + 2000° C. Anwendung leidet, die Aufmerksamkeit der Physiker und Pyrotechniker im hohen Grade verdient. Dasselbe hat eine Aehnlichkeit mit demjenigen, dessen sich Brongniart bei den Fabriken zu Sèvres bedienen soll, welches aus einer thönernen Röhre mit einem in ihrem Innern eingeschlossenen metallnen Cylinder und einer Fortsetzung von einem gleichfalls thönernen Cylinder besteht, dessen äufseres Ende einen silbernen Zeiger bewegt. Es ist mir jedoch keine genauere Beschreibung dieses letztern, welches ich blos aus mündlichen Erzählungen kenne, bekannt.

Das obige Pyrometer besteht aus einem hohlen, ungefähr 4 Fufs langen Parallelepipedon von Schmiedeeisen AB, wovon die äufsern Seiten des Querschnitts etwa 1 und 0,5 Zoll betragen. Ueber dem Boden dieser Hülle befindet sich eine, mit zwei starken Schrauben α, α befestigte Platte, die zugleich durch die letzern regulirt werden kann. In ihrer Mitte ist ein nur wenige Zoll langer Cylinder von Platin festgelöthet, dessen anderes Ende vermittelst vier Schrauben unverrückbar mit einer eisernen Stange verbunden ist, die von d bis zur Vorrichtung e des Zeigers reicht. Daselbst wird das Ende vermittelst der beiden Streben β, β' durch eine unter dem Rande liegende starke Feder op stets angedrückt und in unverrückter Lage erhalten. Am Ende der Eisenstange ist eine feine Stahlfeder angebracht und um denjenigen Stift geschlungen, an welchem der Zeiger festsitzt. An demselben Stifte ist ein zweiter Metalldraht befestigt, welcher durch eine an der Seite angebrachte Feder n stets gestrafft wird und daher den Zeiger zurückzieht, so dafs dieser, nach entgegengesetzten Seiten hin mit grofser Kraft gezogen und mit seinem Nonius auf der Scale durch dichtes Aufliegen sich reibend, selbst bei starken Erschütterungen nicht schlottert.

Fig. 174.

Aus dieser Beschreibung wird die Wirkungsart des Apparats von selbst klar. Wird nämlich das untere Ende der zu messenden Hitze ausgesetzt, die allezeit auf die ganze Länge der eben aus dieser Ursache so kurzen Platin-Stange wirken kann, so dehnt sich sowohl diese, als auch das Eisen der Hülle aus, die gleichzeitigen unbestimmbaren, nach der Länge

des der Hitze ausgesetzten Theils verschiedenen Ausdehnungen der innern Eisenstange und der äufsern Hülle sind als einander gleich ohne Einflufs und es wird letztere deswegen an ihrem obern Theile bis ungefähr zur Mitte ihrer ganzen Länge mit Eggen (Randstreifen) von Tuch, als einem schlechten Wärmeleiter, umgeben, damit sie nicht merklich schneller, als der innere Cylinder, erkalte. Weil sich aber die Platinstange weniger als das Eisen ausdehnt, wobei sich von selbst versteht, dafs beide Metalle nach der Bearbeitung nochmals ausgeglüht werden, um ihre künftige Ausdehnung zu einer stets regelmäfsigen zu machen, so bleibt die Länge des innern Cylinders gegen die der Hülle bei wachsenden Temperaturen zurück, und diese Differenz wird durch den Zeiger angegeben. Die mit unbewaffneten Augen zwar genügend sichtbare, mit der Loupe aber schärfer abzulesende Scale ist von 20° zu 20° C. getheilt, der Nonius giebt 2° C. unmittelbar, durch Schätzung aber 0°,5 C. mit genügender Schärfe; die Empfindlichkeit des Apparats ist so grofs, dafs die Unterschiede der Temperaturen in verschiedenen Zimmern nach etwa 2 bis höchstens 5 Minuten genau zum Vorschein kommen, bei wiederholten Versuchen zwischen 10° und 100° C. erreichten aber die Fehler für jeden Beobachter nie völlig 0°,5 C. Eben diese Empfindlichkeit mufs auch bis zu den höchsten erreichbaren Hitzegraden fortdauern, die soweit gesteigert werden können, bis die Form der Metalle sich ändert oder ihre Verbindungen eine Zerstörung erleiden, worüber bis jetzt wegen des niedern Standpuncts, worauf sich die Pyrometrie noch befindet, keine Entscheidung möglich ist; wie grofs aber die Genauigkeit des Apparats in höhern Graden sey, hängt von dem Verhältnisse der Ausdehnungsgesetze für Platin und Eisen ab, die bis jetzt zwar gleichfalls noch unbekannt sind, nach grofser Wahrscheinlichkeit aber keine bedeutenden Unrichtigkeiten veranlassen werden [1].

Schon Cornelius Drebbel kannte die Eigenschaft der atmosphärischen Luft, durch Wärme regelmäfsig ausgedehnt zu werden, und benutzte dieselbe zu seinen Thermometern, es

---

1 Die für die Wissenschaft sehr wichtigen Pyrometer dieser Art werden vom hiesigen Mechanicus Schmidt für 8 Louisd'or ohne Emballage verfertigt.

scheint aber nicht, dafs weder er selbst, noch irgend einer der zahlreichen Gelehrten, welche sich später mit Untersuchungen über das Ausmessen der Wärme beschäftigt haben, die Aufgabe weiter verfolgten, mittelst der regelmäfsig fortfchreitenden Ausdehnung der Luft die höhern Hitzegrade zu bestimmen. Ich finde nämlich blofs einen Vorschlag von J. G. Schmidt[1] zur Verfertigung eines Luftpyrometers aus einer hohlen Platinkugel mit einem langen, sehr engen Rohre. Die eingeschlossene Luft soll vor dem Einbringen der Kugel in den Ofen zum Messen der Hitze durch Kali ausgetrocknet werden, das enge Rohr aber mündet luftdicht in ein kleines, halb mit Wasser gefülltes Gefäfs, und indem dann die Luft in der erhitzten Kugel ausgedehnt wird und auf das Wasser des Gefäfses drückt, erhebt sich dieses in einer engen eingetheilten Glasröhre und zeigt somit die Grade der Hitze. Guyton de Morveau[2], dem diese Idee bekannt war, findet sie allerdings sinnreich, vermuthet jedoch wohl mit Recht, dafs der Erfinder den Apparat niemals wirklich ausgeführt, ja selbst nicht einmal alle Schwierigkeiten vorausgesehn habe, die zu überwinden wären, wenn die Platinkugel ihre Unschmelzbarkeit beibehalten und daher jede Löthung vermieden werden sollte. Die letztere Einwendung ist zwar wohl nicht völlig gegründet, allein die Ausführung des Apparats ist dennoch mit Schwierigkeiten verbunden, deren Ueberwindung in der allgemeinen Beschreibung gar nicht bestimmt angegeben wird.

Auf das nämliche Princip der Luftausdehnung ist ein ähnliches Pyrometer gegründet, welches Mill[3] in Vorschlag gebracht hat. Dasselbe besteht aus einer hohlen Platinkugel A von etwa 0,5 Z. im Durchmesser an einer Röhre B von demselben Metall und etwa 1 Lin. weit, deren Länge nicht angegeben ist und daher der Willkür anheim gestellt bleibt. Das andere Ende dieser Röhre ist mittelst eines Ansatzes an die Luftprobe befestigt, die aus einer heberförmig gebognen Glasröhre CD mit etwas Quecksilber besteht, an deren oberem Ende sich eine Kugel D von gleichem Inhalte als dem der

Fig. 175.

1 Nicholson's Journal. 1805.
2 Mém. de l'Inst. An. 1811. P. II. p. 104.
3 Ann. de l'Indust. nat. et étrang. N. 77. Daraus in Wiener Zeitschrift Bd. II. S. 75.

Platinkugel befindet. Wenn also der Inhalt der Kugel und der ihr zugehörigen Röhre bis an das eine Ende der Quecksilbersäule gerade so grofs ist als der der andern Kugel mit ihrer Röhre, so wird bei jeder Temperatur das Ende des Quecksilberfadens bis zum Anfangspuncte der auf einer gläsernen oder metallnen Platte befindlichen Scale EF reichen, an dieser aber aufsteigen, sobald die Luft in der Platinkugel erhitzt wird. Um die Kugel und Röhre von Platin durch die Einwirkung des Feuers nicht leiden zu lassen, steckt man sie beim Gebrauche in eine cylindrische Röhre aus Thon, füllt den Raum mit Sand und Kohlenpulver aus und bedeckt diese durch Thonstücke.

Man könnte den hier beschriebenen Apparat ein Differentialpyrometer nennen, und seine Construction ist allerdings sinnreich, jedoch unterliegt es dem Fehler, dafs der Einflufs der Luft in der Platinröhre nicht vermieden ist, welcher keineswegs als eine verschwindende Gröfse betrachtet werden kann, da die Röhre der Angabe nach eine Linie oder noch etwas darüber weit seyn soll. Dieser Fehler würde noch bedeutend gröfser werden, wenn man die Länge des Platinrohrs vermehrte, um die Kugel nicht blofs in kleinen, sondern auch in grofsen und weiten Oefen in die Mitte des Feuers zu bringen. Ein hiesiger junger kenntnifsreicher Physiker, Petersen, hat diesen Fehler dadurch vermieden, dafs die Kugel seiner Pyrometer mit einem dünnen und daher biegsamen, mehrere Fufs langen Drahte versehn ist, dessen innere cylinderförmige Höhlung kaum die Weite hat, dafs man ein Pferdehaar hineinbringen könnte, wonach also die hierin enthaltene Luft gegen die in der ohnehin noch gröfsern Kugel eingeschlossene füglich als eine verschwindende Gröfse betrachtet werden kann. Aufserdem zieht er es vor, zur Absperrung gefärbtes Schwefelsäurehydrat statt des Quecksilbers zu wählen, welche wegen des geringern Drucks der gehobenen Säule den Vorzug verdient. Eine andere wesentliche Verbesserung besteht darin, dafs der statt der Kugel gewählte gläserne Cylinder mit seiner Glasröhre, worin die Schwefelsäure aufsteigt, sich in einem weitern Glascylinder neben einem Thermometer befindet, welches dazu bestimmt ist, die Temperatur der in jenen Theilen des Apparats eingeschlossenen Luft zu messen, die durch hineingegossenes Wasser unverändert so erhalten werden mufs,

als sie anfangs beim Stande der Schwefelsäure auf dem Anfangspuncte der Scale war. Welche Flüssigkeit man übrigens zum Absperren beider, nicht eben nothwendig einander gleichen, Mengen von Luft wählen mag, Quecksilber oder Schwefelsäure, so darf diese nicht bis an die Mündung des engen Rohrs reichen, weil sonst leicht etwas in dieses eindringen kann, was sich nicht füglich durch ein anderes Mittel als Ausglühen wieder austreiben läfst. Ist der Apparat auf die beschriebene Weise eingerichtet, was namentlich in Beziehung auf die Verfertigung der Platinkugel und des zugleich sowohl hinlänglich langen als auch mit einem gehörig engen Canale versehenen Rohrs für die jetzige Technik keineswegs zu schwierig ist, hat man demnächst die Scale nach einem genauen Thermometer mit der erforderlichen Schärfe graduirt, so ist man im Besitze eines Pyrometers, welches alle bisher angegebene bei weitem übertrifft, indem dasselbe die feinsten Temperaturunterschiede von mittlerer Wärme bis zur höchsten Glühhitze anzugeben vermag, und aufserdem der Hitze stets ausgesetzt bleiben kann, wenn man bei einigen technischen Processen, z. B., wie Neumann sehr treffend bemerkt, bei der Verfertigung von Glasarten zu optischen Zwecken, oder, wie sich leicht hinzusetzen läfst, beim Brennen feinerer Porzellanwaaren, einen unveränderlichen und zugleich nicht allzustarken Hitzegrad fortdauernd verlangt.

Die bereits ausgeführten Exemplare dieses Pyrometers haben im Wesentlichen folgende leicht verständliche Einrichtung. Die Kugel, deren Inhalt ungefähr einen Kubikzoll beträgt, nebst der langen und daher leicht biegsamen Röhre bedarf keiner Zeichnung. Die Gestalt des Luftbehälters ist willkürlich; auch wird nicht erfordert, dafs derselbe ohne alle Löthung sey, wie an dem vorhandnen Exemplare mit grofser Mühe ausgeführt wurde, indem die später zu beschreibende Art der Verfertigung beweist, dafs nach Pouillet's Erfahrungen selbst gelöthete Kugeln die Weifsglühhitze ohne Nachtheil aushalten; auf jeden Fall aber mufs der innere Raum der Röhre höchst eng seyn. Beim wirklichen Gebrauche in starker Hitze scheint es räthlich, den kugelförmigen Körper durch das Hineinlegen in einen höchst unschmelzbaren Tiegel gegen äufsere Beschädigung zu schützen. Zum Mefsapparate gehört eine verticale Glasscheibe A B, auf einem Fufsbrete CD be- Fig. 176.

festigt, welches zugleich als Träger des in die Rinne $\alpha\beta$ eingesenkten Glascylinders dient. Bei a zwischen der Glasröhre und dem sehr engen Platinrohre befindet sich das rechtwinklig gebogene Verbindungsstück, welches an letzteres gelöthet und auf erstere aufgekittet ist. Die Röhre bcd muſs möglichst genaues Caliber und eine Länge von etwas über 30 Zoll haben, um vom Anfangspuncte der Scale an 1440 Theilstriche in einem Abstande von 0,25 Linien aufnehmen zu können, welche die Wärmegrade, jeder etwa vier nach Cels., anzeigen, so daſs also einzelne Centesimalgrade noch ziemlich genähert meſsbar sind. Die auf die gläserne Platte AB geätzten Grade fangen bei b an, endigen bei d und die Scale umfaſst im Ganzen 5760 Centesimalgrade. Die Bestimmung des Thermometers gh zur Beobachtung der bei jeder Messung herzustellenden Normaltemperatur ist an sich klar, und auf gleiche Weise ergiebt sich als leicht begreifliche Sicherheitsmaſsregel, daſs man wohl thun wird, durch einen hinter den Meſsapparat gestellten Schirm die Wärmestrahlen der Oefen abzuhalten. Eine Veränderung des Barometerstands hat auf das allseitig verschlossene Pyrometer, wenn es ursprünglich richtig construirt ist, keinen Einfluſs; auch bleiben die Messungen richtig, wenngleich die Schwefelsäure mit ihrem einen Schenkel bei b im Anfange des Versuchs nicht auf dem Normalpuncte der Scale steht, denn es hat keinen Einfluſs auf das gesuchte Resultat, wenn die Luft in der Kugel etwas über oder unter die Normaltemperatur erwärmt ist; fürchtet man aber, daſs die atmosphärische Luft durch die längere Einwirkung der Hitze eine Zersetzung erleiden möge, so würde es sicherer seyn, die Platinkugel mit Stickgas zu füllen; auch versteht sich von selbst, daſs die zum Messen dienende Gasart vollkommen trocken sey, was sich jedoch durch Ausglühen der Kugel und des Drahts und Einbringen von Luft, die durch Chlorcalcium ausgetrocknet ist, sehr leicht bewerkstelligen läſst.

Da das Pyrometer empirisch graduirt wird, so verschwindet hierdurch der Einfluſs, welchen die Ausdehnung des Metalls der Kugel auf das Resultat der Messung ausübt, und es bleibt bloſs ein kleiner, die beobachteten Grade vermindernder Fehler, welcher aus der zunehmenden Ausdehnung des Platins bei höheren Hitzegraden entspringt. Ein diesem ent-

gegengesetzter, das Resultat vergröſsernder Fehler entsteht durch die Ausdehnung der in der Röhre enthaltenen Luft. Da letzterer leicht als bedeutend erscheinen könnte, so wird es räthlich seyn, das Maximum desselben zu bestimmen, welches dann statt finden würde, wenn die Luft in der ganzen Länge desselben auf gleiche Weise, als die in der Kugel, ausgedeht würde, was jedoch unmöglich ist. Wird die Oeffnung im Rohre wirklich so eng gemacht, daſs ein Pferdehaar nicht willig oder überhaupt nicht hineinzubringen ist, so beträgt der Diameter nach Messungen nahe genau 0,03 Lin., also der Halbmesser 0,015 Linien, und wenn dann die Länge desselben überflüssig zu 5 Fuſs angenommen wird, so beträgt der ganze Kubikinhalt nicht mehr als $0{,}015^2\,\pi\,.\,720 = 0{,}5434$ Kub. Linien, welches gegen den Kubikinhalt der Kugel zu einem Kubikzolle oder 1728 Kubiklinien noch kein Dreitausendstel beträgt. Wenn man jedoch überlegt, daſs die angenommene Erhitzung auſser dem Bereiche der Möglichkeit liegt, auſserdem aber die beiden genannten Fehler einander entgegengesetzt sind, so ergiebt sich deutlich, daſs bei genügend sorgfältiger Ausführung man selbst bei den höchsten Hitzegraden kaum um einen einzigen Grad der hunderttheiligen Scale fehlen könne. Hieraus ergiebt sich aber zugleich die Nothwendigkeit, die Röhre so eng zu machen, und man begreift bald die Ursache, weswegen es unmöglich ist, einige eingedrungene Feuchtigkeit anders als durch Ausglühen fortzuschaffen; zugleich aber wird vorausgesetzt, daſs der zum Messen dienende Körper in der Hitze seine Form nicht verändere, mithin die erforderliche Metallstärke habe, und namentlich im Zustande einiger Erweichung durch Hitze gegen äuſsern Druck hinlänglich geschützt sey.

Die bei diesem Apparate zum Grunde liegende Idee ist mit einiger Veränderung auf eine sehr sinnreiche Weise durch Pouillet zur Construction eines Luftpyrometers benutzt worden, vermittelst dessen man allerdings bei gehöriger Genauigkeit des Experimentirens sehr genügende Resultate erhalten kann. Auch letzteres ist nirgend vollständig beschrieben und man findet bloſs oberflächliche Angaben darüber[1], inzwischen habe ich dasselbe im *Conservatoire des Arts* cet. zu Paris gesehn und

1 Z. B. im Journ. de Pharmacie.

kann hiernach folgende Beschreibung mittheilen, welche selbst auch hinsichtlich der Dimensionen wenigstens sehr nahe richtig ist. Der Haupttheil besteht aus einem von dickem Platin verfertigten hohlen Körper A, welcher aus zwei Hälften in der Mitte zusammengelöthet und eben so vermittelst des massiven Stücks a mit der Röhre $\alpha\beta$ verbunden ist. Die Löthung geschieht im stärksten Feuer vermittelst eines sehr dünnen zwischen die über einander geschobenen Hälften des hohlen Körpers A und eines zwischen die eingepafsten Theile dieses und des massiven Stücks a gelegten Goldblatts. Ist die Löthung einmal geschehn, so werden hierdurch die geringen Mengen des Golds mit beiden Flächen des Platins so innig verbunden, dafs nach Pouillet's Erfahrung diese Stellen nicht früher als die übrigen Theile des hohlen Körpers in Flufs kommen[1]. Die Länge der grofsen Axe des hohlen Körpers beträgt nahe 1,75 Zoll, die der kleinen etwa 1 bis 1,25 Zoll, die Länge der Röhre aber ungefähr 2 Fufs, ihre Dicke gegen 1,5 Linien, der innere Canal der letztern aber höchstens 0,15 Linien im Durchmesser, so dafs die darin eingeschlossene Luft das Resultat der Messung nicht merklich afficiren kann. Am andern Ende der Röhre befindet sich gleichfalls ein massives Stück b, vermittelst dessen dieselbe auf die graduirte Glasröhre cd so gesteckt wird, dafs die eingeschlossene trockne atmosphärische Luft nirgends entweichen kann. Die Röhre cd communicirt mit einer andern, gleichfalls graduirten Glasröhre ef, beide aber stehn mit einer dritten gh so in Verbindung, dafs durch den Hahn k Quecksilber aus der letztern in beide fliefsen kann, um das Niveau in ihnen zu erhöhn; bei einer andern Drehung des Hahns aber wird gh verschlossen, und bei einer dritten fliefst Quecksilber durch die Oeffnung γ aus dem Behälter aus, in welchem die ersten beiden Röhren vereint sind[2]. Die drei Röhren sind auf der

Fig. 177.

1 Ob dieses im strengsten Sinne wahr sey, möchte ich nicht unbedingt verbürgen; indefs steht dieser Umstand der Anwendung des Luftpyrometers nicht im Wege, da man die dazu erforderlichen hohlen Körper auch ohne Löthung von beliebiger Gröfse erhalten kann.

2 Man übersieht bald, dafs der Hahn nur einmal durchbohrt ist, nämlich in seiner Axe vom äufsersten Ende anfangend bis in die Mitte und dann seitwärts ausgehend.

Bodenplatte so aufgerichtet, dafs sie in den drei Spitzen eines gleichschenkligen Dreiecks stehn, und sind zugleich von einem gläsernen Cylinder umgeben, welcher zur Erhaltung einer gleichmäfsigen Temperatur mit Wasser von unveränderter Wärme gefüllt ist. Die Länge der Röhren beträgt ungefähr zwei Fufs, und die Beobachtung des Quecksilbers in den zwei graduirten geschieht vermittelst eines Fernrohrs mit einem genau horizontalen Faden, um das Niveau der Quecksilbersäulen in beiden, die zur Vermeidung ungleicher Capillarität von gleichem Durchmesser seyn müssen, völlig scharf zu erhalten.

Es ergiebt sich hiernach leicht, auf welche Weise pyrometrische Messungen mit diesem Apparate angestellt werden. Sind alle drei Röhren bis zu einer gewissen Höhe, in der Regel bis zum Anfange der Scale, mit Quecksilber gefüllt, die eine gh höher als die beiden andern, ist der Hahn so gestellt, dafs kein Quecksilber weder aus der letztern, noch aus dem ganzen Apparate abfliefst, und hat man den umschliefsenden Glascylinder mit Wasser von der Temperatur der Atmosphäre gefüllt, so wird das Quecksilber in den beiden graduirten Röhren gleich hoch stehn. Alsdann steckt man das Platinrohr mit der Platinkugel auf und beobachtet, ob der Stand des Quecksilbers in der Röhre cd keine Aenderung, etwa in Folge einiger Erwärmung durch die Hand oder durch eine sonstige Ursache, erlitten hat. Ist dieses nicht der Fall oder hat man das Gleichgewicht in beiden Röhren durch das Zulassen oder Ablassen von einigem Quecksilber wieder hergestellt, so wird die hohle Birne der zu messenden Hitze ausgesetzt, deren Stärke der Ausdehnung der Luft direct proportional ist. Die ausgedehnte Luft drückt demnach auf das Quecksilber in der Röhre cd, macht dasselbe sinken und dagegen in ef steigen, worauf man so lange Quecksilber durch den geöffneten Hahn ausfliefsen läfst, bis die Höhe desselben in beiden Röhren gleich ist und die Raumvermehrung in cd den höchsten erreichten Hitzegrad nach den vorausgegangenen Bestimmungen des Werths der Scalentheile angiebt. Wenn demnächst der birnförmige Körper aus dem Feuer genommen und zur anfänglichen Temperatur wieder herabgebracht ist, vorausgesetzt, dafs der Barometerstand während des Versuchs keine Veränderung erlitten habe, so zieht sich die in cd eingeschlossene Luft wieder in den abgekühlten Raum zurück,

das Quecksilber steigt in dieser Röhre, man läfst aus g h neues zufliefsen, bis es in beiden graduirten Röhren gleich hoch steht, und ist dieser Stand wieder der anfängliche, so gewährt dieses eine Controle des ganzen Versuchs.

Die beiden zuletzt beschriebenen Pyrometer unterscheiden sich blofs durch die Art, wie die Ausdehnung der Luft durch Wärme gemessen wird. Bei dem letztern geschieht dieses allerdings mit grofser Schärfe, aber zugleich mit einem bedeutenden Aufwande von Zeit und Mühe; auch steht das Hindernifs im Wege, dafs bei längerer Dauer des Versuchs der Barometerstand sich leicht ändern kann, weswegen dasselbe auch zu längere Zeit anhaltenden Beobachtungen unbrauchbar ist. Beim erstern kommt es hauptsächlich auf die Genauigkeit an, womit der Künstler den Apparat ursprünglich hergestellt hat, und man erhält ein eben so bequemes als richtiges und vielseitig brauchbares Pyrometer, sobald die erforderlichen Bedingungen in einem hinlänglichen Grade erfüllt sind.

Der bereits erwähnte Petersen hat noch ein andres Pyrometer ersonnen und gleichfalls ausführen lassen, welches einen hohen Grad der Genauigkeit mit unerwarteter Einfachheit vereinigt, jedoch für länger dauernde Versuche sich nicht eignet. Dasselbe besteht aus einem hohlen, kugelförmigen oder sonstig sphäroidischen Körper A, welcher entweder durch Zusammenlöthen zweier Hälften auf die angezeigte Weise verfertigt, oder aus einem Stücke Platin getrieben seyn kann. Der kubische Inhalt des eingeschlossenen Raums ist willkürlich, jedoch reicht ein Kubikzoll, selbst als Maximum genommen, füglich für alle Zwecke hin, wenn man nicht höherer Genauigkeit wegen die Versuche nach einem gröfsern Mafsstabe anstellen will, in welchen Falle es allerdings vortheilhaft ist, das Volumen und die Metalldicke des Pyrometers zu vermehren. Zu gewöhnlichen, bei gehöriger Vorsicht gleichfalls hinlänglich genauen, Versuchen für Chemiker, Pharmaceuten und Techniker reichen solche füglich hin, deren Inhalt nicht mehr als einen halben und selbst nur einen viertel Kubikzoll beträgt. An dem hohlen Körper befindet sich ein kurzer Hals b, welcher bei c in einen etwas breiten Rand endigt, jenseit dessen die dünnere, etwa 2 bis 3 Lin. lange, Fortsetzung zu einer männlichen Schraube geschnitten ist, über

Fig. 178.

welche das Hütchen d mit einer weiblichen Schraube so geschraubt wird, dafs die Ränder des Hütchens und des Halses bei c zur Berührung kommen. Solche Schrauben schliefsen nie luftdicht, sollte dieses aber bei einem gefertigten Exemplare dennoch der Fall seyn, so würde eine sehr einfache Probe hierüber Auskunft geben und könnte diesem sehr bald abgeholfen werden. Zur leichtern Uebersicht des Ganzen scheint es mir zweckmäfsig, zuvor im Allgemeinen zu bemerken, dafs dieses Pyrometer mit trockner Luft gefüllt der zu prüfenden Hitze ausgesetzt, dann schnell im Wasser abgekühlt werden mufs, um aus dem Gewichte des eingedrungnen Wassers die durch Wärme bewirkte Ausdehnung der Luft und hieraus die Höhe der Temperatur zu bestimmen. Das ganze Verfahren hierbei ist folgendes.

Zur richtigen Messung ist vor allen Dingen erforderlich, dafs die im Pyrometer eingeschlossene Luft trocken sey, und man mufs um so mehr darauf Bedacht nehmen, diese Bedingung mit Sicherheit zu erreichen, als so leicht ein Antheil des bei einem frühern Versuche eingedrungnen Wassers zurückbleiben könnte. Um diesen Zweck zu erreichen, wird das Hütchen d abgeschraubt, das Sphäroid A dagegen mit der männlichen Schraube in den Apparat BB geschraubt, so dafs die Ränder bei c abermals zur genauen Berührung kommen. Der letztere besteht aus einem cylinderförmigen Stücke Messing, in dessen unteres dünneres Ende eine weibliche Schraube zur Aufnahme der männlichen des Sphäroids A geschnitten ist, der obere dickere Theil $\alpha\alpha$ aber steckt in einer Hülle von Holz $\beta\beta$, um ihn daran zu halten, ohne die Finger durch die erzeugte Hitze zu verletzen; in der Mitte aber ist das Messingstück mit einem in der Axe liegenden engen Canale durchbohrt, dessen oberes Ende konisch erweitert und ausgeschmirgelt ist. In diese Oeffnung pafst die konische Verlängerung der messingnen Röhre m n o p, auf deren Boden über dem feinen, durch die Verlängerung gehenden Canale eine Lage trockner Baumwolle festgedrückt und bis ans Ende der Röhre mit Chlorcalcium überschüttet wird. Soll dann der Apparat zu einem Versuche gebraucht werden, so schraubt man das Hütchen von dem Sphäroide A ab, dagegen den Apparat BB, jedoch ohne die Röhre m n o p, auf, erhitzt das Sphäroid A über einer Weingeistlampe bis mehrere Grade über den Siedepunct des Was-

Fig. 179.

sers, so dafs der messingne Theil, den man an der hölzernen Umgebung hält, mindestens bis zur Siedehitze gelangt und also alle Feuchtigkeit entweichen mufs, entfernt die Lampe und steckt den unterdefs in Bereitschaft gesetzten hohlen Cylinder mnop auf, wodurch das allmälig abgekühlte Sphäroid mit völlig trockner Luft angefüllt wird; ja man kann diese sehr leichte Operation mehrmals wiederholen, falls man fürchtet, dafs das erhitzte Sphäroid das erstemal noch mit Dampf gefüllt gewesen sey, der sich bei der Abkühlung wieder niedergeschlagen habe. Ist man von der völligen Austrocknung versichert, so schraubt man das Späroid A los, schraubt das Hütchen darauf, und der Apparat ist dann zum Versuche fertig, welcher zwar einfach so angestellt werden kann, dafs man das Pyrometer der zu messenden Hitze aussetzt, besser aber ist folgendes Verfahren, insbesondere, wenn es sich um sehr hohe Temperaturen handelt. Ein Graphittiegel MN von der Gröfse, die sich zur Aufnahme des Sphäroids eignet und in welchem dasselbe freien Spielraum hat, ist in einem massiven eisernen, zur Verhütung des Verbrennens mit Thon beschlagenen Ringe ab befestigt, welcher letztere an der massiven eisernen Stange bc festsitzt, deren Länge hinreicht, um den Tiegel mitten in die stärkste Hitze zu bringen. Ueber der Oeffnung des Tiegels liegt der nur wenig über den Rand hervorragende Deckel P so lose, dafs er leicht und schnell herabfällt. Will man Tiegel und Deckel noch obendrein für die höchsten Hitzegrade mit einer sehr feuerfesten Thonmasse beschlagen, so ist dieses dann noch von gröfserem Nutzen, wenn man das Zerspringen oder Zusammensintern des Tiegels fürchtet. Sobald der Apparat der Hitze so lange ausgesetzt war, als erfordert wurde, ihm selbst die zu messende Temperatur mitzutheilen und die im Sphäroide eingeschlossene Luft gehörig auszudehnen, wobei die mehr elastische durch die nicht luftdicht schliefsende Schraube entweicht, so nimmt man ihn rasch aus dem Feuer, wirft so schnell als möglich, und ohne zur Abkühlung Zeit zu lassen, den Deckel herab, das Sphäroid A aber in ein bereit stehendes Gefäfs mit destillirtem oder nur mit Regenwasser. Bei der Abkühlung dringt das Wasser durch die feinen Canäle der Schraube in den innern Raum, ohne dafs die noch übrige Luft entweichen kann, weil sich die Spitze sogleich nach unten senkt; man nimmt dann, wenn das Wasser

Fig. 180.

im Glase sammt dem Sphäroide auf die Normaltemperatur des Apparats gekommen ist, das Sphäroid mit einem Zängelchen heraus, trocknet es schnell mit feinem Fliefspapier ab und bestimmt auf einer feinen Waage das Gewicht des eingedrungnen Wassers, wonach die Ausdehnung der eingeschlossenen Luft und somit der Grad der erreichten Hitze bestimmt werden kann. Das Sphäroid wird nämlich nach seiner Anfertigung vom Künstler gewogen, dann mit Wasser von 20° C., als der bestimmten Normaltemperatur, auf welche es beim Gebrauche wieder gebracht werden mufs, gefüllt, dann abermals gewogen, und nach dem Gewichte des Wassers, welches dasselbe ganz ausfüllt, und dem des nach dem Abkühlen eingedrungenen kann leicht die Ausdehnung der Luft, folglich auch der erreichte Hitzegrad, berechnet werden. Eine hierzu erforderliche Tabelle, welche neben den Gewichten zugleich die Temperaturen enthält, kann sich zwar ein jeder selbst für sein Pyrometer verfertigen, allein es versteht sich von selbst, dafs ein geübter Künstler auch dieses mühsame Geschäft übernehme und dem von ihm gemachten Apparate eine solche Tabelle beifüge.

Das hier beschriebene Pyrometer empfiehlt sich ausnehmend durch seine Einfachheit, seine Sicherheit und den Umfang der damit mefsbaren Temperaturen. Weil die Ausdehnung der Luft durch Wärme bei jedem Grade ihrer Dichtigkeit gleich ist, so hat man überall nicht nöthig, den Barometerstand zu berücksichtigen, indem sich nicht annehmen läfst, dafs derselbe während der kurzen Dauer des Versuchs vom Zeitpuncte der stärksten Erhitzung bis zur beginnenden Wägung eine bedeutende Veränderung erleiden sollte; denn selbst wenn dieses während der Wägung der Fall wäre und durch verminderte Dichtigkeit der in der Kugel zurückgebliebnen Luft etwas Wasser herausgetrieben würde, so gäbe das gefundene Gewicht auch diesen Antheil dennoch mit an. Die veränderte Dichtigkeit der Luft, welche zu den verschiednen Zeiten der Versuche darin enthalten ist, darf aber als unbedeutend vernachlässigt werden, ebenso wie der Feuchtigkeitszustand, insbesondere wenn man die ursprüngliche, zur normalen Regulirung dienende Wägung mit Luft vornimmt, welche bei 20° C. mit Feuchtigkeit gesättigt ist, indem man die Kugel zuerst mit solcher Luft, nachher mit Wasser von

20° C. gefüllt genau wägt und durch Abziehung der erstern Gröfse von der letztern das Gewicht des Wassers findet, welches bei dieser Temperatur den innern Raum ausfüllt. Nur ein Umstand ist bei der Verfertigung und beim nachherigen Gebrauche höchst nothwendig zu berücksichtigen. Die Schraube darf nämlich zwar nicht luft- und selbst nicht wasserdicht schliefsen, allein der Raum zwischen den übereinander liegenden Rändern und zwischen den Schraubengewinden mufs sehr eng seyn, damit kein eigentlicher Strom von Wasser eindringt, durch die Hitze sofort in Dampf verwandelt wird und dann die noch eingeschlossene Luft austreibt. Sind dagegen die Canäle gehörig eng, so erfolgt die Abkühlung von Aufsen durch die Menge des Wassers, worein das Pyrometer geworfen wird, viel zu schnell, als dafs der angegebene Umstand eine Unrichtigkeit herbeiführen könnte, um so mehr, da die Spitze nach unten fällt, mithin das nachdringende Wasser früher ausgetrieben werden mufs, als die eingeschlossene Luft nachfolgen kann[1].

Um eine ungefähre Uebersicht der Genauigkeit zu geben, welche die Messungen mit diesem Pyrometer erreichen können, dient folgende Betrachtung. Ein Kubikzoll Wasser im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit wiegt 19,84 Gramme, mithin bei 20° C. 19,805 Milligramme. Die Luft dehnt sich bekanntlich um 0,00375 ihres Volumens für jeden Centesimalgrad aus, und wenn daher ihr Volumen vor der Ausdehnung durch Wärme $= V$ ist, so wird dieses nach der Erhitzung bis zu t Graden C. noch $= V \frac{1}{1+t(0{,}00375)}$ seyn, und da man statt des Inhalts der Luft auch den des Wassers setzen kann, so bezeichnet die letztere Gröfse, von 1 abgezogen, das Volumen oder das Gewicht des eingedrungnen Wassers, wonach also für einzelne Grade die Tabelle zum Auffinden der gemessenen Temperatur aus dem Gewichte der Kugel nach dem Versuche berechnet werden mufs. Für $t = 1$, also für 1° C.,

1 Bei einer fehlerhaften Construction ist es sogar möglich, dafs die grofse Masse des Dampfs, welcher aus zu vielem eingedrungenen Wasser gebildet wird, das Sphäroid zersprengt. Der Künstler bezeichnet daher das Hütchen mit einem Striche, damit es jederzeit nicht zu viel, aber auch nicht zu wenig festgeschraubt werde.

und wenn $V = 19805$ Milligr. gesetzt wird, erhält man

$$19805\left(1 - \frac{1}{1{,}00375}\right) = 73{,}995 \text{ oder nahe} = 74 \text{ Milligramme,}$$

wird aber $t = 5000$, so erhält man $19805\left(1 - \frac{1}{1975}\right) = 18802$ Milligramme, welche das Pyrometer nach dem Messen an Wasser enthalten müfste. Das Pyrometer wird mit zunehmender Hitze weniger empfindlich, aber die Hitze müfste unendlich grofs werden, wenn die Messung ganz aufhören sollte.

Der Beschreibung der bis jetzt in Vorschlag gebrachten Pyrometer mufs noch diejenige Methode hinzugefügt werden, welche James Prinsep[1] für pyrometrische Messungen empfohlen hat, nämlich sich der Schmelzpuncte von Metallgemischen zu bedienen. Die Idee ist nicht absolut neu, vielmehr brachte man sie auf eine ähnliche Weise bereits in Anwendung, indem man Cylinder von Metallmischungen, die nach dem Verhältnisse ihrer Bestandtheile leichter oder schwerer schmelzbar sind, in die Dampfkessel löthete, um diese gegen das Zerspringen zu schützen; auch haben sich die Chemiker und Physiker nicht selten verschiedner Mischungen aus Blei und Zinn bedient, damit deren Schmelzen ihnen die Sicherheit gewährte, dafs ein gewisser Grad der Hitze nicht überschritten wurde. Prinsep gründet indefs auf die Schmelzbarkeit solcher Verbindungen eine eigentliche pyrometrische Scale, deren Richtigkeit jedoch weder theoretisch noch durch die Erfahrung genügend begründet ist. Er setzt nämlich den Schmelzpunct des Silbers auf das Null dieser Scale und die des Golds auf 10, schliefst dann weiter, dafs die zwischenliegenden Grade den Quantitäten des zugesetzten Golds direct proportional seyn müssen; auf gleiche Weise fällt der Schmelzpunct des Platins 100 Grade über den des Golds, und für die Mischung dieser beiden Metalle wird das nämliche Gesetz angenommen. Vom reinen Silber anfangend wird also ein Zusatz von 0,1 Gold und so fort durch 0,2; 0,3..... genommen, bis zum reinen Golde, und von diesem anfangend 0,01; 0,02; 0,03.... Platin, wonach also die Scale auf gleiche Weise

---

1 Phil. Mag. New Ser. T. III. p. 129. Edinb. Journ. of Science. N. XVII. p. 168.

durch einzelne Grade bis zum Schmelzpuncte des reinen Platins fortschreitet.

Man übersieht bald, daſs hierbei zu viele unbegründete Voraussetzungen angenommen werden, als daſs man auf diesem Wege zuverlässige pyrometrische Messungen erwarten dürfte, und das vorgeschlagene Mittel kann daher nur für relative Bestimmungen angewandt werden. Uebrigens zeigt Prinsep mit Recht, daſs die Messungen auf die angegebene Weise sich sehr leicht anstellen lassen, auch die wenigsten Kosten und die geringste Sorgfalt erfordern. Man bedarf nämlich bloſs die angegebnen 10 Alliagen von Silber und Gold und die 100 folgenden von Gold und Platin, jedes als ein kleines Kügelchen von der Gröſse eines Stecknadelknopfs, welche in einem Kästchen liegend man sogar mit sich herumtragen kann. Diese plattet man etwas auf einem Ambos mit einem kleinen Hammer, legt sie in einen kleinen Tiegel und bringt sie auf diese Weise in die zu prüfende Hitze, deren Stärke demjenigen Scalentheile proportional ist, zu welchem das in ihr eben schmelzende Metallgemisch gehört, und das Kügelchen, worin dieses zusammenschmelzt, kann zu einem folgenden Versuche wieder benutzt werden. Wiewohl übrigens eine eigentliche Messung auf die hier angegebne Weise unmöglich ist, weil die hierzu erforderlichen Grundbestimmungen fehlen, so könnte dennoch die Anwendung dieses Vorschlags eben wegen der Leichtigkeit und Bequemlichkeit sehr nützlich werden, wenn man zuvor vermittelst eines der angegebnen Luftpyrometer die Werthe der Scalentheile, bei denen die Schmelzung erfolgt, aufgefunden hätte; ja man könnte sogar, wenn dieses einmal geschehn wäre, selbst bis zum Schmelzpuncte des Platins gelangen, was mit jenen bessern Pyrometern unmöglich ist.

M.

Pyrometrie.

Pyrometria; Pyrométrie; *Pyrometry*.

Man versteht hierunter eigentlich, und in den neuern Zeiten bestimmt, die Ausmessung des Feuers oder der höhern bis zu den höchsten Graden der Hitze. Weil aber ehemals das Feuer allgemein als die Ursache der Wärme-Erscheinungen

betrachtet wurde, so war die Pyrometrie mit der Thermometrie gleichbedeutend und ihr Alter reicht also bis zur Erfindung der Thermometer. In Beziehung auf das Wissenschaftliche steht auch hier NEWTON[1] an der Spitze. Dieser verfertigte nämlich Thermometer aus Leinöl, deren Scale 0 bei der Temperatur des schmelzenden Eises und 34° in siedendem Wasser zeigte, auch maſs er hiermit die höhern Hitzegrade bis zum Schmelzpuncte des Zinns, den er bei 72° setzte. Höhere Temperaturen bestimmte er sehr sinnreich aus der Zeit, deren das glühende Eisen bis zum Erkalten bedurfte, wobei er sich seiner bekannten Formel bediente[2]. Zu diesem Ende zog er eine Masse glühenden Eisens mit einer Zange, die mit ihr gleich stark erhitzt war, aus dem Feuer, hielt sie in ruhiger Luft, legte auf dieselbe andere leichter schmelzbare Metalle, maſs die Zeit, bis sie erstarrten, und von da an, bis die Eisenmasse zu einer meſsbaren Temperatur, der Wärme des menschlichen Körpers, erkaltete, und bestimmte aus diesen Gröſsen die Schmelzpuncte jener Metalle. Hierbei fiel indeſs die Pyrometrie mit der Thermometrie zusammen, und diese Ansicht blieb auch noch später die herrschende, wie denn namentlich LAMBERT's[3] Pyrometrie nach dem jetzigen Sprachgebrauche eigentlicher den Namen Thermometrie verdiente.

Mit MUSSCHENBROEK[4], BOUGUER[5], NOLLET[6] beginnt eine neue Periode, denn diese bezogen die Pyrometrie vielmehr auf die Auffindung der Ausdehnung der verschiednen Metalle durch untergesetzte Weingeistlampen, wobei sie sich unter andern Mitteln namentlich der Räderwerke bedienten; aber MARTINE[7], welcher aus solchen und NEWTON's Versuchen die höhern Temperaturen bestimmen wollte, zeigte, daſs das Räderwerk für so feine Maschinen wegen zu starken Schlotterns sich nicht eigne, und DESAGULIERS[8] verwarf daher jenen Mechanismus,

---

1 Opuscula. XXI.

2 S. Art. *Wärme, Leitung derselben.*

3 J. H. Lambert's Pyrometrie oder vom Maſse des Feuers und der Wärme. Berl. 1779. 4.

4 Tentamina Acad. Cim. add. II.

5 Mém. de l'Acad. 1745. p. 249.

6 Leçons de Physique.

7 Medical and philosoph. Essays. Lond. 1740. 8. Ess. III.

8 Cours de Physique. Leçon V. not. 2.

indem er statt dessen ein grob gefeiltes Blech durch hinlänglich starken Druck einen Cylinder um seine Axe drehn machte, an dessen einem Ende ein Zeiger befestigt war, welcher die Pyrometergrade auf einem Zifferblatte anzeigte. Alle übrige zahlreiche Pyrometer waren gleichfalls hauptsächlich dazu bestimmt, die Ausdehnung der verschiednen Metalle zu messen, und verdienen daher hier nicht näher erörtert zu werden; jedoch benutzte unter andern Mortimer[1] die Ausdehnung einer Metallstange zum Messen hoher Wärmegrade, wobei er aber nicht weiter als bis zum Schmelzpuncte des Wismuths gelangte, den er bei 810° F. setzte.

Die eigentliche Pyrometrie, in der neuesten Bedeutung des Wortes oder die Ausmessung der höhern und höchsten Wärmegrade, zugleich auch insbesondere, wie der Ausdruck selbst anzeigt, der Wirkungen des Feuers, beginnt im letzten Decennium des vorigen Jahrhunderts mit der Erfindung des *Thoncylinder-Pyrometers* durch Wedgwood, dessen sinnreich construirter und bis zu den höchsten Graden der Hitze noch ausreichender Apparat mit grofsem Beifalle aufgenommen und vielfach zu Messungen angewandt wurde. Allein es ergaben sich bald sehr auffallende Abweichungen unter den erhaltenen Resultaten, und insbesondere zeigte Guyton de Morveau[2] durch überwiegende Gründe die Unrichtigkeit der durch Wedgwood aufgestellten Reduction der Grade seines Pyrometers auf die gewöhnlichen Thermometerscalen. Guyton de Morveau blieb jedoch bei dieser Prüfung nicht stehn, sondern er gehört ohne Widerrede zu denjenigen, durch welche die Pyrometrie am meisten gefördert worden ist. Er machte nämlich zugleich sein *Platinpyrometer* auf einer Thonplatte bekannt, und gebrauchte dieses theils zur Bestimmung höherer Hitzegrade, theils zur Prüfung des Wedgwood'schen Apparats; allein die Physiker fanden es dennoch bedenklich, auch dieses Pyrometer in Anwendung zu bringen, weswegen man dasselbe kaum irgenwo vorfindet. Ebenderselbe brachte aufserdem noch mehrere, allerdings sinnreich ausgedachte, in der Anwendung aber nicht sowohl beschwerliche, als vielmehr delicate und

1 Phil. Trans. XLIV. 672.

2 Mém. de l'Institut. Classe des Sciences math. et phys. 1810. 2me Sem. u. 1811. 2me part. p. 89.

vielfache Correctionen erfordernde pyrometrische Messungen in Vorschlag. Dahin gehört die Vergleichung der Ausdehnung anderer Metalle mit der des Platins, um durch jene, die zwei- bis dreifach so grofs als die des Platins ist, die Ausdehnung des letztern genauer auszumitteln und dadurch die Messungen mit dem Platinpyrometer sichrer und schärfer zu machen Aufserdem schlug er vor, die Wärme der Körper, nachdem sie einer grofsen Hitze ausgesetzt gewesen waren, vermittelst des Calorimeters zu messen, welches allerdings zu genügenden Resultaten führen könnte, wenn nur namentlich das Eis-Calorimeter von LAVOISIER zu sehr scharfen Messungen geeignet und die specifische Wärme der angewandten Körper mit hinlänglicher Sicherheit bekannt wäre. Gleichen Unsicherheiten war auch das Verfahren ausgesetzt, die Wärme der erhitzten Körper durch Mittheilung derselben an Wasser (Wassercalorimeter) zu messen. Endlich wandte GUYTON DE MORVEAU noch das Mittel an, die niedrigern Grade des Wedgwood'schen Pyrometers mit den bekannten Temperaturen siedender Flüssigkeiten, namentlich des Quecksilbers, und mit den Schmelzpuncten nicht strengflüssiger Metalle zu vergleichen.

In den neuesten Zeiten hat hauptsächlich J. F. DANIELL[1] eine sehr grofse Menge pyrometrischer Versuche angestellt und dabei, ebenso wie seine Vorgänger WEDGWOOD und GUYTON DE MORVEAU, durchaus sachgemäfs beabsichtigt, diejenigen hohen Temperaturen mit Genauigkeit aufzufinden, bei denen die verschiedenen Metalle schmelzen und die ungleichen Grade des Glühens zum Vorschein kommen[2]. Hierzu bediente er sich der von ihm erfundenen Pyrometer; allein es ist in dem diesen Apparaten gewidmeten Artikel bereits nachgewiesen worden, dafs auch diese nicht frei von unvermeidlichen Fehlern und daher die erhaltnen Resultate höchst unsicher sind. Man darf also mit Recht sagen, dafs aller zahlreichen Bemühungen ungeachtet die Pyrometrie noch in ihrer Kindheit sey, und es bleibt noch immer fraglich, ob die Anwendung der viel versprechenden Luftpyrometer einen bedeutenden Zweig der physikalischen Wissenschaften merklich weiter zu fördern geeignet sey.

M.

---

1 Phil. Trans. 1829 u. 1831.

2 Die erhaltenen Resultate werden im Art. *Wärme*, *Schmelzen*, mitgetheilt und näher geprüft werden.

Pyrophor.

Luftzünder; *Pyrophorus;* Pyrophore; *Pyrophorus.*

Eine fein vertheilte, Kohle haltende, sich bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft entzündende Materie. Der bekannteste ist der durch Homberg entdeckte Alaunpyrophor, den man durch gelindes Glühen eines Gemenges von Kali-Alaun und einer kohlenstoffhaltigen Materie, wie Kohlenpulver, Mehl, Zucker u. s. w., erhält. Aber auch durch Glühen von Kohle mit schwefelsaurem Kali oder Natron oder mit kohlensaurem Kali, von Brechweinstein und andern Salzen, die eine organische Säure neben Kali oder Natron enthalten, für sich, erhält man pyrophorische Massen. Nachdem man diese Substanzen nach dem Glühen in verschlossenen Gefäfsen völlig hat erkalten lassen, entzünden sie sich, wenn man sie mit Luft, besonders feuchter, in Berührung bringt, und verbrennen unter lebhaftem Erglühen und da, wo schwefelsaure Salze angewandt wurden, unter Entwicklung schwefeliger Säure. Folgende Umstände scheinen die leichte Entzündung dieser Pyrophore zu veranlassen: 1. fein vertheilter Zustand der Kohle; 2. Gegenwart von Kalium oder Natrium oder von deren Verbindungen mit Schwefel, die wegen ihres ebenfalls fein vertheilten Zustands den Sauerstoff und das Wasser der Luft begierig unter Wärmeentwicklung anziehn und durch die damit erhöhte Temperatur die Entzündung der Kohle befördern.

G.

Quadrant.

Astronomischer; *Quadrans astronomicus;* Quart de cercle astronomique; *Astronomical Quadrant.*

Der vierte Theil eines Kreises, dessen Rand in Grade und Minuten getheilt ist, um dieses Instrument zu Winkelmessungen am Himmel zu gebrauchen, heifst astronomischer Quadrant. Es wird am meisten zu Abmessung der Höhe der Gestirne oder ihres Abstands vom Scheitel angewandt und

in diesem Falle ist die Ebene des Kreises vertical und meistens zugleich der eine den Quadranten begrenzende Radius vertical, der andere horizontal. Diese Quadranten sind entweder *feststehende* oder *bewegliche*. Die erstern sind unter dem Namen *Mauerquadranten* (*quadrans muralis*, *quadrans Tychonicus; le mural; the mural quadrant*) bekannt, aber durch die Einführung der ganzen Kreise so überflüssig geworden, daſs sie nur noch wegen ihrer ehemals häufigen und nützlichen Anwendung eine kurze Beschreibung verdienen.

Man gab den Mauerquadranten einen Halbmesser von 6 bis 8 Fuſs, um selbst auf dem Rande schon kleine Bogentheile abzulesen und mit Hülfe des Nonius die noch kleinern Theile zu bestimmen. Der Körper des Quadranten selbst war an einer in der Mittagsfläche liegenden Wand befestigt und das an dem Quadranten bewegliche Fernrohr bewegte sich in der Mittagsfläche. Bei genauer Stellung dient so der Mauerquadrant, um die Zeit zu bestimmen, indem der durch den Mittelfaden des Fernrohrs gehende Stern sich im Meridian befindet, und die Zeit seines Durchgangs also angiebt, welcher Augenblick nach Sternzeit gerade dann eingetreten ist; vorzüglich aber soll er dienen, um die Höhen oder Zenithdistanzen der Sterne oder der Sonne und eben dadurch ihre Deklinationen anzugeben, wenn die Polhöhe des Orts bekannt ist, oder die Polhöhe aus Beobachtungen solcher Sterne, deren Deklination bekannt ist, zu bestimmen.

Zu diesen Zwecken war der Mauerquadrant vollkommen brauchbar, so lange die Beobachtungen noch nicht den Grad der Genauigkeit erreicht hatten, wie in der neuesten Zeit; aber daſs der Mauerquadrant dieser vollkommenen Genauigkeit nicht Genüge thun kann, ist offenbar, da schon die Veränderungen durch Wärme und Kälte, durch eignes Gewicht u. s. w. bei einem Theile des Kreises mehr Unregelmäſsigkeit hervorbringen müssen, als bei einem in allen seinen Theilen symmetrischem ganzen Kreise. Dazu kommt noch, daſs die ganzen Kreise viel mehr Hülfsmittel darbieten, um die Richtigkeit der Aufstellung zu sichern und die darin sowohl als im Instrumente selbst etwa vorkommenden Fehler kennen zu lernen[1]. Zur richtigen Aufstellung des Instruments diente das

---

1 Beschreibungen findet man in Lalande's astronomie. Tome II.

den Nullpunct der Zenithdistanzen bezeichnende, vom Mittelpuncte herabhängende Bleiloth, und man fand es nöthig, den Quadranten zur Prüfung zuweilen an einer zweiten Wand, um nach Norden hin zu beobachten, aufzustellen.

Tycho hat den Mauerquadranten zuerst eingeführt und Lalande rühmt ihn noch als das bequemste und zur Anstellung vieler und guter Beobachtungen in kurzer Zeit am meisten geeignete Instrument, wogegen Pearson es nicht mehr der Mühe werth hält, auch nur eine Beschreibung desselben zu geben, da der Mauerquadrant nur dann allenfalls als unabhängiges Instrument gebraucht werden könne, wenn er eine Drehung um eine verticale Axe, um so in die entgegengesetzte Stellung gebracht zu werden, zulasse und dann einen etwas über das Zenith hinausgehenden Bogen habe.

In der frühesten Zeit bediente man sich am Quadranten bloſser Absehen, an welchen mit bloſsem Auge beobachtet wurde. Erst Picard und Auzout haben 1667 den Gebrauch des Fernrohrs eingeführt, von welchem Gascoigne und Morin schon früher, aber ohne daſs von andern Beobachtern darauf Rücksicht genommen worden wäre, Gebrauch gemacht haben sollen[1]. Hevel zog damals noch die Beobachtung mit bloſsem Auge vor, weil er glaubte, daſs die Gesichtslinie im Fernrohre nicht so fest bestimmt sey, und allerdings mochte es damals noch keine so sichern Mittel geben, die optische Axe des Fernröhrs mit den entsprechenden Theilen des Rands so in Uebereinstimmung zu bringen, wie es erforderlich ist. So viel wenigstens ist gewiſs, daſs Halley, der, um Hevel's Beobachtungsweise kennen zu lernen, 1679 nach Danzig reiste, bekennen muſste, daſs Hevel durch seine Instrumente ohne Fernröhre eben soviel leistete, als man mit dem damaligen Gebrauche der Fernröhre an den Meſs-Instrumenten zu leisten im Stande war. Indeſs hatte Huyghens schon früher den Gebrauch der Fernröhre durch die Anbringung der Fäden im Brennpuncte des Oculars vollkommener gemacht, indem durch dieses Hülfsmittel die Axe des Fern-

---

p. 588. der dritten Ausgabe. Ferner in Smith's vollst. Lehrbegr. der Optik. 3. Buch. 7. Cap.

1 Montucla histor. T. II. p. 570. Lalande astron. T. II. p. 580.

rohrs genau bezeichnet und die genaue Richtung der Gesichtslinie bestimmt wurde.

Unter den Verfertigern von Mauerquadranten haben Bird, Graham und nachher Ramsden sich vorzüglich ausgezeichnet. Die Eintheilung der von Bird verfertigten Instrumente ward für bis auf 4 Secunden zuverlässig angesehn und bei dem von Ramsden blieb nur eine Unsicherheit von 2,5 Secunden [1]. Ueber die spätere noch gröfsere Vollkommenheit der Theilung hat Troughton gehaltreiche Belehrung gegeben [2].

Der *bewegliche Quadrant* wird ebenfalls als Höhenquadrant gebraucht, ist aber mit einem horizontalen Kreise versehn, um zugleich das Azimuth zu bestimmen, in welchem die Höhenbeobachtung angestellt ist. Man kann zum Zwecke der Höhenbeobachtung den Quadranten auf zweierlei Weise aufstellen, indem entweder der ganze Quadrant seine Stellung in der Vertical-Ebene ändert und das Fernrohr an ihm befestigt bleibt, oder indem der Quadrant fortwährend so stehn bleibt, dafs sein einer Endpunct in der Verticallinie durch das Centrum liegt und das Fernrohr am Quadranten fortgerückt wird. Ein Instrument der ersten Art beschreibt Lalande. Dabei ist im Schwerpuncte des ganzen Quadranten eine horizontale Axe angebracht, um die sich der Quadrant dreht; hat man ihn also, indem die Säule, an welcher diese horizontale Axe befestigt ist, gedreht wird, in die richtige Vertical-Ebene gestellt, deren Azimuth auf dem unten angebrachten Horizontal-Kreise abgelesen wird, so bewegt man den ganzen Quadranten mit dem Fernrohre, das in der Richtung gegen den Nullpunct des Quadranten befestigt ist, bis das Fernrohr den zu beobachtenden Gegenstand trifft. Ein vom Mittelpuncte des Quadranten herabhängendes Loth zeigt dann, indem man mit dem Mikroskope den Theilstrich, vor welchem der Faden einspielt, beobachtet, den Abstand der Axe des Fernrohrs vom Zenith an.

Vorzüglicher als diese Einrichtung ist ohne Zweifel die, wo der Quadrant feststehend bleibt und das Fernrohr seiner

---

1 Bird's Method of dividing astronomical Instruments. London 1767. übers. in Kästner's astron. Abh. — The Method of constructing Mural-quadrants. London 1768.

2 Phil. Tr. 1809. p. 105.

Ebene parallel fortbewegt wird, um vermittelst des der Axe des Fernrohrs correspondirenden Index die Stellung desselben auf dem Rande abzulesen. PEARSON beschreibt als sehr vorzüglich einen von DOLLOND ausgeführten beweglichen Quadranten, dessen Einrichtung folgende ist[1].

Der Hauptkörper des Quadranten besteht aus dem 90° umfassenden Rande und zwei damit verbundenen, zwei auf einander senkrechte Radien darstellenden Stücken. Der Festigkeit wegen und um doch dabei eine zu groſse Belastung zu vermeiden sind zwei solche Quadranten, als parallele Ebenen bildend, durch hinreichend viele kleine Verbindungssäulen fest vereinigt, so daſs beide zusammen den Körper des Quadranten bilden. Durch den Schwerpunct dieses Körpers, oder vielmehr durch den Schwerpunct des auch im Uebrigen vollendeten beweglichen Theils des ganzen Instruments, geht zwischen den beiden fest vereinigten Quadranten die cylindrische Röhre herab, welche an dem Quadranten befestigt die Drehungs-Axe einschlieſst. Sie bildet eine verticale Säule, die auf einem soliden, durch Stellschrauben horizontal zu stellenden Fuſse ruht, und wird von einer mit dem Fuſse fest verbundenen Röhre so aufgenommen, daſs sie auch bei der Drehung die verticale Stellung ungeändert behält. Der Körper des Quadranten ist mit diesem die Drehungs-Axe enthaltenden Theile so verbunden, daſs seine Ebene vertical, mit jener Axe parallel, bleibt, und es sind Vorrichtungen angebracht, um diese parallele Lage herzustellen, wenn sie nicht vollkommen statt fände. Auf jenem, die Drehungs-Axe tragenden, Theile ist ein horizontaler Kreis so angebracht, daſs durch ihn die Azimuthalstellung der Ebene des Quadranten angegeben wird, und dieser bis auf 10 Min. getheilte Kreis giebt mit Hülfe des Nonius und des Mikrometers 10 Secunden an. Der Quadrant selbst ist bis zu 5 Min. getheilt, aber das Mikrometer giebt einzelne Secunden.

Der Quadrant wird so aufgestellt, daſs das eine den Radius darstellende Stück horizontal ist, also der andere Radius vertical. An jenem ist ein Niveau, welches eine bis auf 1 Sec. genaue Stellung gewährt, zugleich dient ein mit dem Anfangsradius der Theilung paralleles Fernrohr als Versicherungsfern-

1 PEARSON Introduction to practical Astronomy. p. 555.

rohr für die richtige horizontale Stellung. Als ein zweites Sicherungsmittel der genauen Stellung ist in der verticalen Drehungs-Axe selbst, nämlich so, daſs er in der oben erwähnten Röhre in der wahren Drehungs-Axe frei herabhängt, ein Faden mit einem Gewichte angebracht, und vier Mikroskope dienen dazu, wahrzunehmen, ob der Faden die richtige Lage hat. Das Versicherungsfernrohr dient, um die horizontale Lage des Nullpuncts zu bestimmen. Glaubt man nämlich das Instrument gut nivellirt aufgestellt zu haben, so sieht man durch das Versicherungsfernrohr und richtet es auf ein genau kenntliches, mit dem horizontalen Faden zusammenstimmendes Merkmal. Das am Quadranten bewegliche, zu den Höhenbeobachtungen bestimmte Fernrohr wird nun auf den Nullpunct gestellt und muſs dann, wenn alles richtig ist, genau eben jenen Punct in der Mitte des Felds zeigen. Ist dieses der Fall, oder hat man durch leise Aenderungen der Unterlagen des Versicherungsfernrohrs dieses bewirkt, so ist die Axe des letztern mit der Nulllinie parallel. Aber um zu wissen, ob dieses die wahre Horizontallinie sey, wird der ganze Quadrant um einen halben Umlauf um die verticale Axe gedreht, das Versicherungsfernrohr in seinen Lagern umgelegt und abermals auf jenen Punct visirt, der nun wieder vom Faden des Fernrohrs gedeckt erscheinen muſs.

Verbindet man mit dieser Beobachtung, welche die Nulllinie als horizontal kennen lehrt, die Beobachtung eines dem Zenith sehr nahen Sterns, so erhält man die Bestimmung des wahren Bogens von 90° und kann sich überzeugen, ob der neunzigste Grad des Instruments damit übereinstimmt.

Daſs das Beobachtungsfernrohr sich genau mit der Ebene des Quadranten parallel bewegen und daſs seine wahre Drehungs-Axe genau dem Centrum des auf dem Rande gezeichneten Kreises entsprechen muſs, versteht sich von selbst. Indeſs gilt die Bemerkung, daſs ein ganzer Kreis Vorzüge vor dem Quadranten habe, auch hier. B.

Quadratur s. Aspecten.

Quecksilber.

Hydrargyrum, argentum vivum, Mercurius; Mercure; *Quicksilver, Mercury.*

Dieses seit den ältesten Zeiten bekannte Metall findet sich häufig gediegen und als Schwefelquecksilber, selten in Verbindung mit Selen oder Chlor. Es wird durch Destillation der Erze in Berührung mit Luft, Kalk oder Eisenhammerschlag gewonnen, welche ihm den Schwefel entziehn.

Das Quecksilber gefriert bei — 39°, 44 C. unter beträchtlicher Zusammenziehung zu einer sehr weichen, ductilen Masse. Bei gewöhnlicher Temperatur erscheint es als eine zinnweifse, sehr cohärente Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht nach Karsten 13,5592, nach Cavendish und Brisson 13,568, nach Fahrenheit 13,575 und nach Biddle 13,613 beträgt. Durch Schütteln oder Reiben mit fremdartigen Körpern, wie Wasser, Oel, Pulvern u. s. w., wird es durch immer feinere Zertheilung seiner Tropfen in ein graues, glanzloses Pulver, den *Aethiops per se,* verwandelt, welches das *Exstinguiren* oder *Tödten* des Quecksilbers genannt wird, fliefst aber nach Entfernung der dazwischen gelagerten Körper sogleich wieder zum laufenden Quecksilber zusammen. Der Siedepunct des Quecksilbers liegt nach Crichton bei 346°, nach Dalton bei 349°, nach Heinrich bei 356°, nach Dulong und Petit bei 360°; doch verdunstet es auch schon bei gewöhnlicher Temperatur sowohl im luftleeren als auch im lufterfüllten Raume.

Seine Verbindungen mit Sauerstoff sind:

1. Das *Quecksilberoxydul* (202 Quecksilber auf 8 Sauerstoff) ist ein schwarzes Pulver, welches sich bei Einwirkung von Licht oder Wärme in Metall und Quecksilberoxyd zersetzt. Seine Salze sind meistens farblos und von gelind giftiger Wirkung; phosphorige und schwefelige Säure, Kupfer und viele andere Metalle schlagen aus ihnen metallisches Quecksilber nieder; ätzende Alkalien fällen sie schwarz, Phosphorsäure weifs, Hydrothionsäure braunschwarz, Hydriodsäure gelb, Salzsäure weifs, chromsaure Alkalien scharlachroth. Das salpetersaure Quecksiberoxydul wird durch Auflösen überschüssigen Quecksilbers in kalter verdünnter Salpetersänre erhalten und schiefst aus der farblosen Auflösung, welche die Haut schwarzroth färbt, in kurzen weifsen Säulen an.

2. Das *Quecksilberoxyd* oder der *rothe Präcipitat* (101 Quecksilber auf 8 Sauerstoff) wird gewöhnlich durch Erhitzen des Quecksilbers mit Salpetersäure bis nahe zum Glühpuncte erhalten; es erscheint in ziegelrothen, glänzenden Körnern oder

pulverig, von 11,2 specif. Gewicht, zeigt einen scharfen Geschmack und sehr giftige Wirkung und zerfällt in der Glühhitze in Sauerstoffgas und Quecksilberdampf. Die Quecksilberoxydsalze sind meistens farblos, wirken als sehr scharfe Gifte, werden durch dieselben Mittel metallisch gefällt, wie die Quecksilberoxydulsalze, wobei sie oft zuerst zu solchen reducirt werden, und geben mit Ammoniak einen weifsen, mit fixen Alkalien einen rothgelben, mit phosphorsauren Alkalien einen weifsen, mit wenig Hydrothionsäure einen weifsen, mit mehr einen braunschwarzen und mit Hydriodsäure einen scharlachrothen Niederschlag. Hierher gehören das *schwefelsaure Quecksilberoxyd,* welches durch Erhitzen von Vitriolöl mit Quecksilber als eine weifse Masse erhalten wird und durch Wasser in sich auflösendes saures Salz und zurückbleibendes gelbes basisches Salz, das *turpethum minerale,* zersetzt wird; das *salpetersaure Quecksilberoxyd,* durch Auflösen des Quecksilbers in überschüssiger erhitzter Salpetersäure zu erhalten, aus der durch Abdampfen bis zum specif. Gewichte von 3,47 zu concentrirenden Lösung in farblosen langen Säulen anschiefsend; das *knallsaure Quecksilberoxyd* oder *Knallquecksilber,* bei mäfsigem Erhitzen von salpetersaurem Quecksilberoxyd mit Salpetersäure und Weingeist sich erzeugend und während des Erkaltens in kleinen Krystallen niederfallend, durch sein heftiges Verpuffen ausgezeichnet, welches durch Reiben, Erhitzen, elektrische Funken und Vitriolöl erregt wird.

Das *Halbchlorquecksilber* (202 Quecksilber auf 36 Chlor) findet sich als Quecksilberhornerz und wird als *Mercurius dulcis* oder *Calomel* auf verschiedene Art bereitet, gewöhnlich durch Sublimation eines Gemenges aus Quecksilbersublimat und Quecksilber. Es krystallisirt in quadratischen Säulen, wird durch Sublimation als eine schmutzig weifse faserige Masse von 7,14 spec. Gewicht und durch Fällung als weifses Pulver erhalten, verdampft unter der Glühhitze ohne Schmelzung, zeigt keinen Geschmack und milde Wirkungen und ist unauflöslich im Wasser.

Das *Einfachchlorquecksilber*, der *ätzende Quecksilbersublimat*, (101 Quecksilber auf 36 Chlor) wird meistens durch Sublimation von schwefelsaurem Quecksilberoxyd mit Kochsalz dargestellt, krystallisirt aus Wasser in geraden rhombischen

Säulen, erscheint nach der Sublimation als eine dichte, halbdurchsichtige, weiſse Masse von 5,42 specif. Gewicht, verdampft in der Hitze noch leichter als Calomel nach vorheriger Schmelzung, schmeckt scharf metallisch, wirkt als äuſserst scharfes Gift und löst sich in 18 Theilen kaltes Wasser, in 4 Aether und in 3 Weingeist.

Mit Brom geht das Quecksilber zwei ähnliche Verbindungen ein, wie mit Chlor. Das *Halbiodquecksilber* und das *Einfachiodquecksilber* erhält man durch Fällen des salpetersauren Quecksilberoxyduls oder Oxyds mit Hydriodsäure. Ersteres ist in der Kälte gelb, in der Wärme roth, letzteres in der Kälte scharlachroth und in der Schmelzhitze gelb. Beide sind schmelzbar und verdampfbar und nicht im Wasser löslich.

Das *Schwefelquecksilber* (101 Quecksilber auf 16 Schwefel) ist im rothen Zustande als *Zinnober* bekannt, der sowohl reichlich in der Natur vorkommt, als auch durch Zusammenschmelzen von Schwefel mit Quecksilber und Sublimiren auf trockenem Wege oder durch Zusammenreiben von Quecksilber, Schwefel und hydrothionsaurem Kali auf nassem Wege dargestellt wird. Er krystallisirt in spitzen Rhomboedern und sechsseitigen Säulen, sublimirt in faserigen Massen, zeigt ein specif. Gewicht von 8,124 und ist in Masse cochenilleroth, in Pulvergestalt scharlachroth. Durch Fällen der Quecksilberoxydsalze mit Hydrothionsäure erhält man einen Niederschlag, der auf dieselbe Weise zusammengesetzt ist, wie der Zinnober, aber schwarz erscheint und erst beim Erhitzen roth wird, was vielleicht von einem Dimorphismus des Schwefelquecksilbers abzuleiten ist.

Das *Cyanquecksilber* (101 Quecksilber auf 26 Cyan) wird dargestellt, indem man Quecksilberoxyd entweder mit Wasser und Berlinerblau kocht und filtrirt, oder in wässeriger Blausäure löst; in beiden Fällen schieſst beim Concentriren der Flüssigkeit das Cyanquecksilber in weiſsen quadratischen Säulen an, von sehr scharfem Geschmacke und narkotisch scharfer Wirkung. Es zerfällt beim Erhitzen in Cyangas und Quecksilber und ist leicht in Wasser und Weingeist löslich.

Eine höchst merkwürdige Verbindung geht das Quecksilber mit Wasserstoff und Stickstoff zugleich ein, welche unter dem Namen des Ammonium-Amalgams bekannt ist. Sie enthält auf 1 Atom Stickstoff 4 Wasserstoff oder auf 1 Ammoniak 1

Wasserstoff und bildet sich, wo Quecksilber mit Ammoniak und frei werdendem Wasserstoffe zugleich in Berührung ist, z. B. wenn man zu concentrirtem wässerigem Ammoniak oder zu einem angefeuchteten Ammoniaksalze, welches sich im Kreise der Volta'schen Säule befindet, die negative Elektricität durch Quecksilber übertreten läſst, oder wenn man Quecksilber, worin etwas Kalium oder Natrium gelöst ist, mit einem angefeuchteten Ammoniaksalze in Berührung bringt. In diesen Fällen schwillt das Quecksilber um das zehnfache auf zu einer butterartigen Masse, die jedoch in wenigen Minuten unter Entwicklung von Ammoniak- und Wasserstoffgas wieder zu laufendem Quecksilber zusammengeht.

Die Verbindungen des Quecksilbers mit den übrigen Metallen, die *Amalgame*, werden meistens in der Hitze dargestellt, indem man die schmelzbarern Metalle in flüssigem Zustande, die übrigen in glühendem mit dem Quecksilber zusammenbringt. Das *Silberamalgam* findet sich natürlich in Gestalten des regelmäſsigen Systems. Es wird gleich dem *Goldamalgam* durch Eintauchen glühender Bleche in erhitztes Quecksilber erhalten. Beide Amalgame sind körnig, in der Wärme weich und sie dienen zur heiſsen Versilberung und Vergoldung. Das *Platinamalgam* erhält man am bequemsten durch Zusammenreiben von schwammigem Platin mit Quecksilber; es hat Butterconsistenz und kann ebenfalls zum Ueberziehn anderer Metalle mit Platin verwendet werden.

G.

Quelle.

Quell, Brunnen; *Fons;* Source, Fontaine; *Spring, Fountain, Well.*

Man bezeichnet durch den Ausdruck die *Quelle*, seltner und mehr im rhetorischen Style der *Quell*, sehr häufig und hauptsächlich in der Sprache des gemeinen Lebens *Brunnen*, denjenigen Ort, wo irgend eine Flüssigkeit aus oder in der Erde hervorkommt, auch dieses Hervorkommen selbst, obgleich man hierfür sich fast ausſchlieſslich nur des Zeitworts *quellen* bedient. Beide Worte, Quelle und quellen, bezeichnen in der

deutschen Sprache ebenso, als ihre Synonyme in den fremden, die angegebnen Begriffe so allgemein, dafs man auch von Gas-, Feuer-, Elektricitäts-, Wärme- und Licht-Quellen redet, ja sogar auch bildlich von der Quelle des Guten u. s. w. In diesem Artikel kann jedoch nur von den Quellen des Wassers, des reinen und gemischten, und solcher tropfbarer Flüssigkeiten die Rede seyn, die mit dem Wasser zugleich oder auf gleiche Weise als dieses aus der Erde hervorkommen.

I. Ursprung der Quellen.

Seit den ältesten Zeiten hat man sich bemüht, den Ursprung der Quellen, namentlich in Beziehung auf die beständige Dauer der meisten unter ihnen, zu erklären. Schon Aristoteles[1] führt mehrere Meinungen hierüber an, giebt aber derjenigen den Vorzug, wonach Berge und sonstige hohe Orte das Wasser der atmosphärischen Niederschläge anziehn, in Höhlen ansammeln und allmälig daraus abfliefsen lassen, wobei er dann in Gemäfsheit der damals herrschenden Ansichten zugleich annimmt, die eingeschlossene Luft jener Räume werde gleichfalls in Wasser verwandelt. Seneca[2] ist im Ganzen ein Anhänger dieser Ansicht, fügt aber wegen der ergiebigen Reichhaltigkeit mancher Quellen die aus der Theorie von den vier Elementen leicht erklärliche Hypothese hinzu, dafs auch die Erde in Wasser verwandelt werde. Mit Ausschlufs dieser nichtigen Zusätze erklärt Vitruv[3] den Ursprung der Quellen vollständig. Nach ihm entstehn sie durch das Regen- und Schneewasser, welches in die Erde so lange eindringt, bis es durch Stein-, Erz- und Thonlager aufgehalten und genöthigt wird, sich seitwärts einen Weg zum Abfliefsen zu suchen. Oft sammelt sich das Regenwasser auf Bergen und dringt sonach tiefer ein, was insbesondre vom Schnee gilt, der sich auf den Bäumen und in Vertiefungen länger aufhält. Neben dieser Hypothese existirte eine andere, deren Urheber Lucretius Carus[4] genannt werden kann. Nach ihm wird das Seewasser durch die feinen Zwischenräume der Erde filtrirt,

---

1 Meteor. L. I. cap. 13.
2 Quaest. Natur. L. III. cap. 9.
3 De Archit. L. VIII. cap. 1.
4 De Rer. nat. L. VI. v. 633.

in den Flüssen gesammelt und auf diese Weise zur Erneuerung des Kreislaufs wieder zurückgeführt.

Beide erwähnte Hypothesen stammten aus einer Zeit, in welcher man noch nicht zu experimentiren und selbst die angenommenen Gröfsen nicht einmal schärfer zu bestimmen pflegte, so dafs die Wahrheit nur durch den das Ganze scharfsinnig auffassenden Verstand gefunden werden konnte; dagegen ist es eine fruchtbare Eigenthümlichkeit der neuern Physik, alle verwandte Erscheinungen bei der Erklärung eines einzelnen Phänomens zusammenzunehmen und die dabei vorkommenden Gröfsen nicht im Allgemeinen, sondern scharf oder mindestens genähert zu bestimmen. So verfuhr der scharfsinnige Mariotte[1] bei seiner noch bis auf den heutigen Tag gangbaren Theorie über den Ursprung der Quellen. Hiernach entstehn dieselben durch das Wasser der atmosphärischen Niederschläge, welches in die feinen Canäle eindringend sich in den gegrabenen Brunnen sammelt. Fällt jenes Wasser auf Hügel oder Berge, so dringt es in die Oberfläche ein, insbesondere wenn diese zwischen Gerölle und Baumwurzeln eine Menge feiner Risse enthält, bis es auf festes Gestein kommt, darin nicht eindringen kann und sich daher seitwärts einen Weg bahnt. Dafs das atmosphärische Wasser zur Speisung der Quellen völlig ausreiche, ergiebt sich aus einer leicht anzustellenden Berechnung, aufserdem aber bemerkt man stets, dafs die Quellen bei regnerischem Wetter zunehmen, nach anhaltender Dürre aber ganz oder zum Theil versiegen. Selbst Flüsse verlieren zuweilen $\frac{5}{6}$ ihres Wassergehalts, und wenn gewisse Quellen dieser Veränderung weniger unterworfen sind, so liegt dieses daran, dafs sie sich grofse Behälter ausgehöhlt haben, aus denen nur ein spärlicher Theil anhaltend ausfliefst.

Mariotte konnte bei der Gründung seiner Theorie unmöglich schon alle später aufgefundene Thatsachen kennen, diese also nicht in Anwendung bringen und dadurch das Ganze vervollständigen; indefs erfordert die Achtung gegen seinen Scharfsinn, auch das Uebrige kurz zu erwähnen, was er zur

---

1 Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides. Oeuvres de Mariotte. Leide 1717. 4. T. II. p. 326. speciell von p. 333 bis 340.

Unterstützung seiner Hypothese beigebracht hat. Die Meinung derer, die annehmen, Quellen entständen aus den Dünsten, welche aus der Erde aufstiegen und in höher liegenden Gewölben niedergeschlagen würden, nimmt er nicht an, und wenn behauptet werde, man habe Quellen auf diese Weise entstehn gesehn, so müsse man gegen dergleichen Erzählungen misstrauisch seyn und im Falle der wirklich stattgefundnen Beobachtungen könne man von solchen einzelnen Ausnahmen nicht auf das Ganze schliessen. Die Einwendung, dass das Regenwasser nur bis etwa 0,5 Fuss eindringe, scheint ihm nichtig, weil dieses allerdings bei beackertem Boden statt finde, aber nicht in Wäldern, wo die feinen Canäle tief herabgehn; auch dringe bei 12 und mehrere Tage anhaltendem Regen das Wasser nach Sättigung der Kruste allerdings in die Tiefe und zeige sich beim Graben der Brunnen wieder. Mariotte führt Beispiele an, dass in den Gewölben des pariser Observatoriums und in sonstigen eine der Regenmenge ziemlich nahe proportionale Menge von Wasser herabtröpfelt; einst sah er sogar, dass in einem aufgeschütteten Haufen von Gerölle sich eine Quelle aus dem Wasser der Dächer bildete, weil dasselbe in den zahlreichen Räumen zurückgehalten wurde, durch das Pflaster nicht dringen konnte und daher seitwärts einen Ausweg fand. Sind bei hohen Bergen dergleichen Anhäufungen bedeutend mächtiger, so sinkt das Wasser tiefer herab und man erhält niedriger zum Vorschein kommende Quellen, die den Wechsel der regnerischen oder trocknen Witterung weniger kenntlich machen. Um zu beweisen, dass das atmosphärische Wasser zur Speisung der Quellen vollkommen genüge, liess er zu Dijon ein Regenmass aufstellen, und die Beobachtung ergab im Mittel jährlich 19 Z. 2¼ Lin. Regenwasser. Statt dessen nimmt er nur 15 Zoll an, wonach auf eine Quadrat-Toise 45 Kubikfuss kommen. Rechnet man die Lieue zu 2300 T. Länge, so giebt eine Quadrat-Lieue 5'290000 Quadrattoisen und also 238'050000 Kub. Fuss Regenwasser jährlich. Wenn man ferner die Länge bis zu den Quellen der Seine und der sie speisenden Flüsse zu 60 Lieues, die Breite dieses Gebiets zu 50 Lieues annimmt, so erhält man 3000 Quadratlieues, von denen die ungeheure Menge von 714150 Millionen Kubikfuss Wasser nach Paris gelangt. Die Seine hat oberhalb des Pont-Royal 400 F. Breite, 5 F.

mittlere Tiefe und 100 F. mittlere Geschwindigkeit in einer Minute, wonach also 200000 Kub. F. Wasser in dieser Zeit, mithin 105120 Millionen Kub. Fuſs oder nicht ganz der sechste Theil der obigen Menge jährlich durch die Brücke flieſsen.

Die so eben erwähnte, bei weitem am ersten sich aufdringende Hypothese fand bedeutende Gegner in Perrault[1] und de la Hire[2]. Beide beriefen sich auf die schon von Seneca geäuſserte Bedenklichkeit, daſs das atmosphärische Wasser gar nicht tief in die Erde eindringe, und auſserdem stellte Letzterer zur Prüfung und Widerlegung eigene Versuche an. Er grub eine Schüssel 8 Fuſs tief etwas schief liegend in die Erde, und leitete von ihrer tiefsten Stelle eine 12 Fuſs lange bleierne Röhre in den Keller, aus welcher jedoch während 15 Jahren kein Tropfen Wasser auslief. Eine andere Schüssel mit 8 Z. hohem Rande und von 64 Quadratzoll Flächeninhalt wurde 8 Z. tief an einem weder der Sonne noch dem Winde ausgesetzten Orte eingegraben, gab aber vom 12. Juni bis zum nachfolgenden 29. Febr. kein Wasser und dann nur etwas weniges, nachdem es geregnet hatte und sogleich ein starker Schnee gefallen war. Als die nämliche Schüssel 16 Z. tief eingegraben wurde, gab sie gleichfalls kein Wasser und die über ihr stehenden Pflanzen vertrockneten aus Mangel an Feuchtigkeit. Aus diesen Versuchen schlieſst de la Hire, das atmosphärische Wasser dringe nicht in den Boden, wenn er nicht ausnahmsweise aus Kies bestehe oder damit gemengt sey, und somit könnten auch nur wenige Quellen ihren Ursprung aus den Hydrometeoren erhalten. Perrault berief sich auf Untersuchungen, wonach selbst auf Hügeln, ebenso wie auf weiten Flächen, auch die stärksten Regen niemals über 2 Fuſs tief eindringen. Den hierauf gebauten Schlüssen setzt Mariotte die Behauptung entgegen, daſs ein tieferes Eindringen des atmosphärischen Wassers bloſs bei unangebauten Gegenden statt finde, wobei ihm die oben erwähnten Erfahrungen bei den Gewölben der pariser Sternwarte und andere zum Beweise dienten.

Sedileau[3] erklärte sich gegen Mariotte's Hypothese,

1 Oeuvres diverses. T. II. p. 787.
2 Mém. de l'Acad. 1703. p. 68.
3 Mém. de l'Acad. 1693. p. 117.

weil zu ihrer Unterstützung eine unhaltbare Berechnung diene, worin die oben erwähnte Breite des Flufsgebiets der Seine von 50 Lieues ganz willkürlich angenommen sey. Auf solche Weise könne man Flüsse finden, die kaum den dreifsigsten Theil des atmosphärischen Wassers abführten, während sie in andern Gegenden die gesammte Menge gar nicht fassen könnten; überhaupt könne für eine solche Berechnung blofs eine Insel dienen, aber aus Angaben, die Riccioli[1] mittheilt und Sedileau selbst nicht für zuverlässig halt, folgert letzterer, dafs in Grofsbritannien kaum halb so viel Wasser vom Himmel falle, als durch die Flüsse abfliefst. Halley[2] hatte bei seinem Aufenthalte auf St. Helena oft die Erfahrung gemacht, dafs der nächtliche Thau auf den Bergen die Gläser seiner Fernröhre mit dicken Tropfen bedeckte und das Papier durch Feuchtigkeit zum Schreiben untauglich machte. Es schien ihm aber das Regen- und Schneewasser zur Speisung der Quellen nicht zureichend zu seyn, und er glaubte daher, dafs die hauptsächlich aus dem Meere aufsteigenden Dünste sich auf Hügeln und Bergen verdichteten und am Fufse derselben wieder zum Vorschein kämen. Eine hierbei zum Grunde gelegte Berechnung über die Menge des aus dem mittelländischen Meere aufsteigenden Dampfs und der durch die Flüsse zugeführten Wassermasse beruht auf unrichtigen Annahmen; indefs traten auch Lulofs und Kaestner[3] wegen ähnlicher Erfahrungen, die sie gemacht hatten, dieser Erklärung bei. Die Vertheidiger grofser unterirdischer Wasserbehälter, wie unter andern Woodward, machten hiergegen den Einwurf, dafs die höchsten Gebirge, namentlich die Alpen, auf denen sich vorzugsweise die Quellen grofser Flüsse befinden, während der sechs Wintermonate mit Schnee und Eis bedeckt seyen und also die Quellen versiegen müfsten, allein de Luc[4] zeigt, dafs hiermit ganz übereinstimmend die Quellen grofser Flüsse eben im Winter am schwächsten sind, in den heifsen

1 Geograph. reform. L. X. cap. 7.

2 Phil. Trans. Num. 102. T. X. p. 447. Vergl. Num. 159. vom Jahre 1674. Num. 189. T. XV. vom Jahre 1687. Num. 192. T. XVI. p. 468. Num. 212. T. XVIII. p. 183.

3 Lulofs Einleitung zur math. und phys. Kenntnifs der Erdkugel. Aus d. Holl. übers. von Kaestner. Leipzig 1755. 4. S. 295.

4 Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. §. 155.

Monaten aber das meiste Wasser liefern. Inzwischen wird hierdurch bloſs die Einwendung widerlegt; die Erklärung selbst aber keineswegs als richtig bewiesen.

Man hat gegen die durch Halley und auch die durch Mariotte aufgestellten Hypothesen insbesondere den Einwurf vorgebracht, daſs manche Quellen sehr hoch, selbst am Fuſse niedriger Hügel getroffen werden. Derham[1] unter andern führt eine Quelle bei Upminster an, welche nicht mehr als 100 F. über dem Meeresspiegel ihr Wasser aus einem etwa 15 bis 16 F. hohen Hügel nehme, und setzt hinzu, daſs es in Essex überall keine Berge gebe, deren Höhe 400 Fuſs übersteige, und dennoch finde man dort Quellen in Menge und hinlänglich reiche. Wie auch dieser allerdings scheinbare Einwurf widerlegt werden könne, wird sich aus dem Folgenden ergeben.

Unter den sonstigen Hypothesen zur Erklärung der vielfach untersuchten Aufgabe verdient die des Cartesius[2] zuerst genannt zu werden. Nach ihm giebt es in der Erde eine Menge durch unterirdische Canäle mit der See in Verbindung stehende Höhlen, in welche das Meerwasser dringt, dann durch die Wärme des Erdkerns verdampft, und da dieser entstandene Dampf bis zu den Wölbungen jener Höhlen hoch aufsteigt und dort zu Tropfen verdichtet wird, die in feinen Canälen zusammenflieſsen, so müssen hieraus nothwendig Quellen gebildet werden. Andala[3], Guglielmini[4], Woodward[5], Rohault[6], Kühn[7] und auch Kircher[8] haben diese Hypothese weiter ausgeführt und hinzugesetzt, das Seewasser werde durch die Destillation von seinen Salzen befreit, weswegen aber Gehler meint, das Innere der Berge müsse hiernach längst mit den zurückgebliebnen Salzen ausgefüllt seyn. Auch

1 Physicotheology. Lond. 1754. 8. L. II. chap. 5.

2 Princip. Philos. P. IV. §. 64 ff.

3 Exercitat. acad. Part. IV.

4 Opera. T. I. p. 304.

5 Essay towards a natural history of the Earth and terrestrial Bodies. 1695.

6 Traité de Physique. Par. 1673. P. II. c. 10.

7 Gedanken vom Ursprunge d. Quellen u. des Grundwassers. Berl. 1746. 8.

8 Mundus subterr. T. I. L. V. c. 1.

Perrault[1] ist zum Theil Anhänger dieser Hypothese. Nach ihm entstehn die Flüsse aus zusammengeflossenem Schnee- und Regenwasser, die Quellen und Brunnen des platten Landes aus dem in die Erde dringenden Wasser der Flüsse, die Quellen höherer Berge aber aus einer im Innern statt findenden Verdampfung. Zur Unterstützung der letztern Meinung erzählt er, daſs auf dem Berge Odmiloost in Slavonien Steine gebrochen wurden, und als man bis 10 F. Tiefe gekommen war, drang ein starker Dunst mit groſser Gewalt hervor, welcher 13 Tage anhielt, aber nach 3 Wochen waren alle Quellen der Umgegend vertrocknet. Auch in der Nähe von Paris versiegte eine Quelle, die eine Mühle trieb, zum Theil, als man in der Nähe einen Steinbruch geöffnet hatte, aus welchem ein starker Dunst drang, erhielt jedoch ihr Wasser wieder, nachdem der Steinbruch vermauert war.

Eine zweite, gleichfalls mit groſsem Beifalle aufgenommene, Hypothese ist durch Kircher am meisten bekannt geworden, rührt aber schon von Varenius[2] und Derham[3] her. Diese nahmen an, das Wasser des Meers steige in den feinen Zwischenräumen der Erde und der Felsen, wie in Haarröhrchen, auf, halte den Boden stets feucht, sammle sich in Räumen und flieſse dann ab. Kircher behauptet eine kleine Säule von Gyps verfertigt und oben mit einem Schüsselchen versehn zu haben, worin sich das Wasser ansammelte, welches vom Fuſse der Säule aufgesogen wurde; allein die seitdem durch Theorie und Erfahrung besser begründeten Gesetze der Capillarität ergeben, daſs Kircher diesen Versuch, ebenso wie die Form der Wölbungen, die er den unterirdischen Höhlungen beilegt, bloſs ersonnen habe. Lulofs fand dieses bereits durch wirkliche Ausführung des angegebnen Versuchs, Perrault aber setzte eine bleierne Röhre mit trocknem durchgesiebtem Fluſssande gefüllt aufrecht 4 Lin. tief ins Wasser und fand nach 24 Stunden den Sand 18 Z. hoch angefeuchtet. Er bohrte daher nur 2 Zoll über der Oberfläche des Wassers ein Loch von etwa 8 Lin. Durchmesser in die Röhre, steckte eine schiefe, mit trocknem Sande gefüllte Rinne hinein

1 Oeuv. div. T. II. p. 737.
2 Geogr. gener. Cap. 15. prop. 5.
3 Physicotheology. L. II. c. 5.

und legte Fliefspapier darunter, allein dieses wurde zwar feucht, aber es bildete sich nicht einmal ein Tropfen an dem herabhängenden Ende des Papiers. Auf jeden Fall mufs man diese Hypothese gänzlich verwerfen, denn die harten Felsen nicht gerechnet, durch welche das Meerwasser unmöglich aufsteigen könnte, ist die Höhe mancher starker Quellen viel zu beträchtlich, als dafs die Capillarattraction das Wasser so hoch heben könnte, und aufserdem würde das Seewasser hierdurch seine Salzigkeit nicht verlieren, da seine Salze durch blofse Filtration nicht ausgeschieden werden.

Wegen der Unhaltbarkeit der übrigen Hypothesen ist man in den neuern Zeiten den Ansichten hauptsächlich von Mariotte, zugleich aber denen von Halley beigetreten. Namentlich ist dieses geschehn durch de Lüc[1] bei seinen Widerlegungen der andern Theorieen, vollständig aber hat Hube[2] diesen Gegenstand behandelt. Nach ihm dringt das atmosphärische Wasser in die verschiedenen Arten des Bodens ungleich tief ein, bis es durch feste Erd- und Steinlagen zurückgehalten wird, wie man insbesondere in Höhlen und Bergwerken sieht, wo das Wasser in solcher Menge durch die Risse und Spalten dringt, dafs es nur mit grofser Mühe fortgeschafft wird. Kommt das Wasser auf undurchdringliche Schichten, so sammelt es sich in der obern lockern Erde an und bildet in den verschiedenen Tiefen das, was die Teichgräber den *Seegrund* nennen; zuweilen steigen diese nassen Schichten selbst bis zur Oberfläche, machen den Boden nafs und dadurch unfruchtbar. Der Seegrund wird durch häufigen Regen nässer, und gräbt man in diesen Gegenden ein Loch, so erhält man einen Brunnen, indem die meisten Brunnen ihr Wasser aus dem Seegrunde haben (eine mit der Wahrheit nicht übereinstimmende Behauptung). Das Wasser der unterirdischen nassen Schichten bahnt sich oft einen Ausweg seitwärts und bildet dann die Quellen, die daher bei nassem Wetter ergiebiger sind. Hiernach müssen sie in ungleichen Höhen, selbst in Flüssen und sogar im Meere, zum Vorschein kommen, und wenn sie sich auch auf hohen Bergspitzen zu finden scheinen,

---

1 Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. §. 154.

2 Vollständ. u. fafsl. Unterricht in d. Naturl. Bd. I. S. 117. Bd II. S. 222.

so liegen sie doch allezeit etwas niedriger, wie z. B. der Hexenbrunnen auf dem Brocken, und aufserdem werden die Gipfel der Berge durch die unablässig auf ihnen ruhenden Wolken stets feucht erhalten. Insofern HUBE die Elektricität hierbei als thätig annimmt, ist seine Ansicht nicht richtig, wohl aber indem er die Wirksamkeit der Wolken anerkennt, die oft von der See herbeigetrieben ihre Feuchtigkeit an den Gipfeln der Berge abgeben.

Als Verbreiter der jetzt gangbaren Theorie über den Ursprung der Quellen ist wohl DE LA METHERIE[1] zu betrachten. Nach diesem verdichten die Berge und das an diese grenzende Land nebst den Hügeln die Dünste, die Bergspitzen halten die Nebel auf, die Wolken setzen Feuchtigkeit an dieselben ab und das Regenwasser dringt in sie ein, aus welchen sämmtlichen vereint wirkenden Ursachen der Ursprung der Quellen erklärbar wird, insbesondere wenn man der Versicherung Glauben schenkt, dafs die Masse Erde, die zur Aufführung eines Bollwerks oder eines Festungswerks erfordert wird, zur Erzeugung einer perennirenden Quelle genügt. Hiernach bekennt sich also DE LA METHERIE zu der durch HALLEY aufgestellten Hypothese, indem er aber zugleich im Allgemeinen das Quellwasser mit MARIOTTE für atmosphärischen Ursprungs hält, giebt er noch folgende dabei mitwirkende Bedingungen an. Insbesondere ist die Beschaffenheit der Erdart zu berücksichtigen, auf welche das Wasser der Hydrometeore fällt. Die Kalkerde soll nur wenige Verwandtschaft zu demselben haben, der Quarzsand gar keine, weswegen erstere dasselbe nur wenig, letzterer gar nicht zurückhält, durch Thonlager, selbst gemischte, dringt es aber nicht. Hiernach fliefst ein Theil des gefallnen Regens sogleich ab, ein anderer befeuchtet den Boden, verdunstet und ernährt die Pflanzen, ein dritter dagegen dringt ein, wird in ungleicher Tiefe zurückgehalten und bildet dort eine Art von See, aus welchem das Wasser allmälig am Abhange des Hügels abfliefst. Harte Steinmassen, namentlich die der sogenannten Urgebirge, wirken hierbei wie Thonschichten und nöthigen das Wasser auf ihrer Oberfläche abzufliefsen, die secundären Gebirgsarten dagegen sammeln das Wasser in ihren Spalten, bis dasselbe irgendwo

1 Theorie d. Erde. 1797. 2. Th. 8. Th. II. S. 259.

einen Ausweg findet und die reichen Quellen bildet, deren einige sogar im Meere selbst zum Vorschein kommen. Aus der Wirkung solcher undurchdringlicher Thonlager werden dann auch die sogenannten artesischen Brunnen erklärlich, zugleich aber sind viele Gründe vorhanden, welche vermuthen lassen, dafs ein Theil des atmosphärischen Wassers in das Innere der Erde dringe, wobei jedoch DE LA METHERIE nicht angiebt, wo dieses Wasser endlich bleibt, wohl aber andeutet, dafs es bis in die Gegenden der unterirdischen Vulcane gelangen könne und dort durch Verdampfung den Ursprung der heifsen Quellen nach der Ansicht des CARTESIUS bedinge.

Man darf wohl sagen, dafs die zuerst durch MARIOTTE ihrem wesentlichen Inhalte nach aufgestellte Theorie vom Ursprunge der Quellen gegenwärtig allgemein angenommen werde, nachdem insbesondere DE LÜC die dagegen erhobenen Zweifel genügend beseitigt hat, wonach man also den geraume Zeit hierüber geführten Streit als beendigt ansehn darf [1]. Es wird daher genügen, als die wichtigsten Gewährsmänner für diese Meinung nur noch etwa LICHTENBERG [2], JOH. TOB. MAYER [3] und J. F. W. OTTO [4] anzuführen, denen die späteren gefolgt sind. Was man als modificirend hinzugesetzt hat, kommt im Wesentlichen auf Folgendes zurück. Die Ufer des Meers und die Betten der Flüsse bestehn zum Theil aus Massen, welche für das Wasser undurchdringlich sind, zum grofsen Theile aber auch aus so lockern Erdarten, insbesondere aus Sand, dafs eine bedeutende Menge Wasser bis auf beträchtliche Strecken in dieselben eindringt. Eine nothwen-

---

1 Vergl. CASPAR BARTHOLINI diss. de origine fontium fluvior. ex pluviis. Hafn. 1689. 4. Is. VOSSII de Nili atque aliorum fluminum origine. Hag. Com. 1666. 4. VALLISNERI lezzione intorno l'origine delle fontane. Ven. 1715. 4. Riflessioni sopra l'origine delle Fontane cet. dal Dott. NICOL. GUALTIERI. In Lucca 1728. 8. NICOL. GHEZZI dell' origine delle fontane. Venez. 1741. 12. G. E. HAMBERGERI et auct. A. F. DANKWERTS diss. de fontium origine. Jen. 1733. 4. J. G. WALLERII et SVEN. WESTPHAL diss. de origine fontium 1761. u. a. m.

2 Erxleben's Naturlehre. §. 688—690.

3 Lehrbuch über die physische Astronomie, Theorie der Erde und Meteorologie. Gött. 1805. 8. §. 103 ff.

4 Versuch einer physischen Erdbeschreibung. Berl. 1800. S. 50. G. XII. 614.

dige Folge hiervon ist, dafs beim Graben bis auf eine Tiefe unter dem Spiegel des Meers und der Flüsse stets Wasser gefunden wird, was die Brunnengräber und Baumeister mit dem Namen *Grundwasser*[1] bezeichnen und dessen Höhe dem wechselnden Spiegel des Meers oder der Flüsse stets gleich bleibt. Es folgt jedoch nicht, selbst wenn der letztgenannte Umstand statt findet, dafs dieses Grundwasser stets in Folge des Durchseihens durch die lockern Erdschichten angesammelt wird, vielmehr kann jener gleichbleibende Stand eine Folge davon seyn, dafs das aus atmosphärischen Niederschlägen angehäufte Grundwasser auf einer wenig geneigten Ebene unterirdisch in die Flüsse oder in das Meer abfliefst, hierbei aber nach dem Gesetze communicirender Röhren stets mit jenen ein gleiches Niveau behalten mufs. Das Wasser der Hydrometeore wird nämlich nicht insgesammt durch die Verdunstung wieder entfernt, denn wenn dieses wäre, so müfste man zugleich annehmen, dafs alles von der Meeresfläche verdampfende Wasser wieder in das Meer zurückfiel, und die Entstehung der Flüsse wäre hiernach unerklärlich; allein es kommt hierbei sehr auf die eigenthümliche Beschaffenheit des Bodens an. Lockerer Sand läfst das atmosphärische Wasser bis zur gröfsten Tiefe eindringen, wie schon Mariotte angegeben hat, wenn sich unter demselben nicht eine feste Schicht von Steinen, Thon oder einer Mischung von Eisenoxydhydrat mit Sande befindet. Solche Sandebenen sind daher meistens sehr trocken, aber dennoch findet man häufig in einiger Tiefe das sogenannte Grundwasser, je es befinden sich in ihrer Nähe häufig die sogenannten Moore und Brüche, wo das Wasser stagnirt, weil es keinen Abflufs hat. Ist das Grundwasser der Ebenen in der Nähe des Meers wirklich durch Filtriren angesammeltes Seewasser, so mufs es salzig seyn, inzwischen ist es bei weitem in den meisten Fällen süfs und also atmosphärischen Ursprungs. Quellen findet man in solchen sandigen Gegenden verhältnifsmäfsig felten, gegrabene Brunnen leichter, wenn nicht die Tiefe des Sands das Graben erschwert oder unmöglich macht; jedoch werden allezeit Quellen erzeugt, wenn das Wasser der Hydrometeore aus höher liegenden Ge-

1 Vergl. E. G. Fischer Lehrbuch der mechan. Naturlehre. Berl. 1827. S. 247.

genden auf einer festen Grundlage herabfliefst und sich irgendwo durch eine dünnere Sandschicht einen Weg bahnt. Auf diese Weise entstehn mitten in unermefslichen Sandwüsten die sogenannten *Oasen* [1] oder diejenigen Plätze, hauptsächlich in Africa, wo das feste Gestein, meistens der Granit, so hoch liegt, dafs das aus der Nähe oder Ferne unterirdisch herbeifliefsende Wasser der Hydrometeore sich daselbst ansammelt, zu Tage hervorquillt und in der Regel einen Bach bildet, welcher häufig nicht weit von seinem Ursprunge wieder im Sande versiegt.

Besteht der Boden ganz oder vorzugsweise aus Kalk, so wird seine Oberfläche durch den Einflufs der Sonnenhitze leicht fest, ein grofser Theil des auffallenden meteorischen Wassers läuft daher ab und sammelt sich in den Niederungen zu Bächen und Flüssen, ein andrer Theil dringt nach vorgängiger Erweichung ein und dient dann theils zur Ernährung der Pflanzen, theils verdunstet er, theils bildet er Quellen und Brunnen in gröfserer oder geringerer Tiefe. Stark zerklüfteter, mit zahlreichen Spalten versehener und aus kleinern Stücken bestehender Sand- oder insbesondere Kalkstein läfst jedoch das Wasser leicht durch und verhindert daher das Entstehn der Quellen, weswegen man an Orten, wo solche Lager sehr mächtig sind, wie in einigen Gegenden Baierns, Brunnen von schwer erreichbarer Tiefe graben müfste, so dafs die Anlegung von Cisternen dadurch nothwendig wird. Thonhaltiger Boden hält das auf ihn fallende und nach dem Verhältnisse seiner Lockerheit tiefer eindringende Wasser am stärksten zurück, feste Lager von reinem Thon oder Letten lassen dasselbe gar nicht eindringen, vielmehr sammelt es sich auf denselben an, fliefst nach den niedrigern Orten zusammen und bildet daselbst Quellen.

Im Allgemeinen dringt nach den Untersuchungen, hauptsächlich von Dalton [2], eine unglaubliche Menge von Wasser in die lockere Erde ein, welche blofs dazu verwandt wird, sie gehörig anzufeuchten. Aus seinen Versuchen ergab sich, dafs künstlich ausgetrocknete sogenannte Gartenerde 7 Z. hoch

---

1 Vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1135.

2 Manchester Memoirs. T. V. P. II. p. 346. Daraus in G. XV. 272.

Wasser bedurfte, um bis zur Tiefe von 1 Fuſs vollständig gesättigt zu werden, und mittelmäſsig feuchte 1 Z., wenn die Sättigung bis zu dieser Tiefe gelangen sollte. Wenn man daher die Stärke der Verdunstung als schwer bestimmbar gar nicht berücksichtigt, so ergiebt sich hieraus allein schon, daſs das hauptsächlich in ebenen Gegenden auf Aecker, Gärten und Wiesen fallende Wasser theils für sich, theils durch die Gewächse wieder verdunstet. Es können also an solchen Orten, wenn nicht Flüsse oder belaubte Hügel und Wälder in der Nähe sind, keine zu Tage gehende Quellen gebildet werden, in gegrabenen Brunnen sammelt sich jedoch leicht das erforderliche Wasser, jedoch versiegen auch diese bei starker und anhaltender Dürre, zum Beweise der Richtigkeit des von Mariotte bereits aufgestellten Satzes, daſs die Quellen ihren Ursprung in der Regel bloſs den Hydrometeoren verdanken. Bestände hiernach die Oberfläche der Erde bloſs aus Acker-, Garten- und Wiesenland, wobei noch obendrein keine hohen und steilen Berge möglich seyn würden, dann hätten wir auf jeden Fall keine Ströme, sondern höchstens nur kleine Flüsse. Ausgedehnte Waldstrecken wirken dagegen auf eine eigenthümliche Weise auf die Dämpfe und Dünste in der Luft, indem sie fortdauernd im Sommer eine niedrigere Temperatur haben, den directen Einfluſs der Sonnenstrahlen auf den befeuchteten Boden hindern, dadurch die atmosphärischen Niederschläge vermehren, die Verdunstung dagegen vermindern, das aus dem im Winter gefallenen Schnee gebildete Wasser stärker zurückhalten und durch diese vereinten Ursachen die Bildung der in den Niederungen langsam flieſsenden Flüsse und Ströme bedingen, die in Uebereinstimmung hiermit im Sommer und Herbste am seichtesten, im Frühlinge dagegen am tiefsten sind. Ungleich stärker wirken die angegebenen Ursachen bei waldigen Bergen, und um so mehr, je höher sie sind, so daſs auch selbst steile und nackte Bergspitzen, wenn sie nur die gehörige Höhe haben, eine unglaubliche Menge Wasser liefern. Diese ziehn nicht bloſs wegen ihrer gröſsern Kälte die Dämpfe aus der Atmosphäre an, sondern sind fast unausgesetzt in Wolken eingehüllt, wodurch die auf ihnen befindlichen Pflanzen, insbesondere Kryptogamen, stets naſs erhalten werden, wenn sie aber über die Grenze der Vegetation hinausreichen, fast täglich frischgefallener Schnee sie be-

deckt. Letzteres ist namentlich bei den Alpenspitzen der Fall, aber auch bei minder hohen Gebirgsketten, den Sudeten, dem Brocken und den Schwarzwaldgebirgen macht man häufig bei regnerischem Wetter die Erfahrung, daſs die Menge des Regens zunimmt, je tiefer man in die Gebirge eindringt. Bewaldete Hügel und niedrigere Bergketten geben daher die anhaltenden und reichen Quellen[1], die so viel zahlreicher sind, je höher die primitiven Felsarten in ihnen emporsteigen, weil dann das eindringende Wasser der Hydrometeore bald zu einer undurchdringlichen Unterlage gelangt, auf welcher es seitwärts abzuflieſsen genöthigt wird. Die Hochgebirge aber, namentlich in Europa die Alpen, geben den groſsen Strömen, der Rhone, dem Rhein, dem Po, der Etsch und den zahlreichen Flüssen, denen die mächtige Donau ihren Wasserreichthum verdankt, den Ursprung, die eben deswegen ihren höchtsen Stand im Sommer durch den vielen schmelzenden Schnee erhalten[2]. Es läſst sich gegen diesen zuletzt genannten Ursprung der Quellen auf keine Weise das Argument geltend machen, was Mariotte keineswegs genügend widerlegt, nämlich daſs sie im Winter wegen des Schnees und Eises versiegen müſsten, denn das Eis der Eisberge und Gletscher thaut auch in den kältesten Jahreszeiten durch die bleibende Wärme des darunter befindlichen Bodens auf und der Schnee der Spitzen rollt und gleitet fortwährend in die Tiefe herab. Es unterliegt demnach keinem Zweifel, daſs die durch Mariotte aufgestellte Hypothese über den Ursprung der Quellen im Ganzen die richtigste sey[3].

Daſs durch Capillarität überall keine Quellen entstehn, läſst sich nach der geringen Höhe, bis zu welcher das Wasser in geballter Erde aufgesogen wird, mit Bestimmtheit annehmen[4].

---

1 Der Einfluſs der Waldungen auf die Quellen zeigt sich unter andern sehr auffallend, namentlich in Heilbronn, wo der reichlich flieſsende Kirchbrunnen bedeutend abnimmt, wenn diejenige Gegend abgeholzt wird, aus welcher diese Quelle nach anderweitigen entscheidenden Gründen herkommt. S. v. Bruckmann über Artes. Brunnen. S. 355.

2 Vergl. *Regen, Menge desselben.*

3 Vergl. Bergmann phys. Erdbeschreibung. §. 70. Otto in G. XII. 614.

4 Gehler im Art. *Quelle* Bd. III. S. 611. berechnet, daſs in ei-

Dagegen ist wohl erwiesen, dafs einige Quellen als seltene Ausnahmen dem in unterirdischen Räumen gebildeten, in kälteren Wölbungen niedergeschlagenen Wasserdampfe ihren Ursprung verdanken, ein Procefs, welcher hauptsächlich in vulcanischen Gegenden statt findet. So fand Dolomieu auf der Insel Pentellaria in einem Gebirge eine Grotte, aus deren Boden ein feuchter Dunst drang, welcher sich an der Wölbung verdichtete und eine perennirende Quelle bildete. Auf Stromboli befindet sich in einem aus Schlacken und vulcanischer Asche gebildeten Hügel eine Quelle, die frisches, trinkbares Wasser liefert und auch dann nicht versiegt, wenn eine andre, tiefer am Fufse des Bergs liegende, vertrocknet, welches jährlich wenigstens einmal erfolgt. Die unfruchtbare Wölbung des Hügels kann jene Quelle nicht aus dem Wasser der Hydrometeore erzeugen, und man mufs daher annehmen, dafs sie aus den von innen aufsteigenden Dämpfen gebildet werde. Auch auf dem Berge Calogero auf Sicilien, Pentellaria gegenüber, steigen Dämpfe aus einer Höhle empor, verdichten sich zu Tropfen und bilden eine perennirende Quelle[1].

Die hier mitgetheilte, auf genügende Gründe gestützte, Theorie der Quellen steht mit den zahlreichsten unzweideutigen Naturerscheinungen in so innigem Zusammenhange, dafs die Naturforscher der neuesten Zeit insgesammt Anhänger derselben sind. Als Autoritäten wird es daher genügen, nur noch etwa zwei zu nennen, nämlich Cuvier[2] und Berzelius[3]. Ersterer äufsert sich nur im Allgemeinen, aber sehr bestimmt, hierüber, indem er sagt, dafs in Beziehung auf den Ursprung der Quellen und Flüsse nichts zu wünschen übrig bleibe, da es bewiesen sey, dafs der Regen und die übrigen Hydrometeore

---

nem Haarröhrchen von 0,06 Z. Durchmesser das Wasser 0,61 Z. hoch aufsteigt, folglich für die 1857 F. hohe Quelle des Tafelbergs Haarröhrchen von weniger als einem halben Millionstel Z. Durchmesser erforderlich seyn würden. Allein in so engen Räumen steigt das Wasser überall nicht, indem das starke Zusammenpressen der Körper das Eindringen desselben verhindert.

1 Dolomieu Reisen nach den Lipar. Inseln. Uebers. von Lichtenberg. Leipz. 1783. S. 156. Ferrara Campi Flegrei. p. 43.

2 Geschichte der Fortschritte der Naturwissenschaften. Ueb. von Wiese. Bd. I. S. 131.

3 Lehrbuch der Chemie. Bd. I. S. 403.

die einzigen Ursachen derselben sind; Letzterer dagegen beschreibt den ganzen Procefs der Quellenbildung den wesentlichsten Theilen nach, ohne jedoch den eigentlichen Grund der fortdauernden gröfsern Kälte hoher Bergspitzen als Hauptbedingung der reichlichen Niederschläge auf denselben genügend nachzuweisen, wovon die Thatsache zwar unwidersprechlich begründet ist, die eigentliche physikalische Erklärung aber noch vielen Schwierigkeiten unterliegt.

Dennoch haben sich in der neuesten Zeit einige wenige Gelehrte gegen diese Theorie vom Ursprunge der Quellen erklärt, indem sie es vorziehn, denselben lieber von unbekannten Kräften abzuleiten, obgleich die Physik erst seit der Verbannung solcher verborgener Kräfte und der Einführung einer einfachen geometrischen Erklärungsart der Phänomene ihre bedeutendsten Fortschritte gemacht hat. Meistens stützen jene sich hierbei auf die Autorität Keppler's[1], nach dessen Ansicht die Erde als ein grofses Thier das Meerwasser einsaugen, dann im Innern weiter verbreiten und daraus das Grundwasser als Ursache der Quellen bereiten soll. Allein so scharfsinnig Keppler war, so zeigt sich bei ihm doch auch der Einflufs der damals herrschenden Vorurtheile, namentlich in seinem Glauben an Zauberei, ebenso wie sein grofser Zeitgenosse Galilei sich aus gleichem Grunde von der Annahme eines *horror vacui* nicht losmachen konnte. Aufserdem aber lag das Urtheil über die vorliegende Frage gänzlich aufser dem Kreise der Forschungen Keppler's, woraus dann auch das Grobe und Unbeholfene seiner ganzen Hypothese erklärlich wird, von der man später jedoch mit Unrecht blofs den Satz, dafs der Erde eine Art animalischen Lebens zukomme, beizubehalten suchte, so treffend auch die Alten die Abwesenheit einer eigentlichen Vitalität durch den Ausdruck *bruta tellus* bezeichneten.

Schon am Schlusse des vorigen Jahrhunderts trat J. K. P. Grimm[2] gegen Otto auf und erklärte nach den Grundsätzen der damals neuen antiphlogistischen Chemie die Entstehung des Grundwassers, woraus die Quellen gespeist würden, aus einer langsamen Verbrennung des Wasserstoffgas durch Sauer-

1 Harmonices Mundi Lib. quinque. Lincii 1619. fol. Lib. III.
2 G. II. 336.

stoffgas. Abgerechnet aber dafs wir eine solche Wasserbildung nicht anders als mit einer Explosion verbunden kennen, wäre es doch rein unmöglich, den Ursprung der in den Alpen entspringenden Quellen, die wir ohnehin aus dem Eise, Schnee und Regen sichtbar entstehn sehn, aus dieser Ursache abzuleiten. Was aber dort im unermefslich Grofsen geschieht, nehmen wir bei kleinern Bergzügen bis zu Hügeln und eng begrenzten Wäldern herab in so viel geringerem Mafse wahr, als die Ursachen sich mehr vermindern, statt dafs nach jener Hypothese gar nicht abzusehn wäre, warum die Ebenen nicht gleich reichhaltige Quellen bilden sollten, als die Berge [1].

Keppler's aus zu kühnem Phantasiespiele entstandene Hypothese, wonach der Erde Organismus und Lebensthätigkeit beigelegt werden, findet man durch Lulofs [2] aufgenommen, und auch neuerdings hat sie bei einigen Naturphilosophen Beifall gefunden, unter denen Keferstein [3] wohl als ihr eifrigster Vertheidiger zu nennen ist, welcher sich dabei auf Patrin [4], Bertrand [5], Ebel [6], Voigt [7], Schelling und andere als Anhänger der nämlichen Theorie beruft. Man darf sich indefs in den physikalischen Forschungen nicht durch Autoritäten blenden lassen, wie berühmt auch die Namen derselben seyn mögen, so lange deutliche Thatsachen zur Auffindung der Wahrheit vorhanden sind. Merkwürdig ist es aber, dafs diejenigen, die so gern zu höhern verborgenen Kräften ihre Zuflucht nehmen, die auffallendsten und unverkennbarsten Erscheinungen in Abrede stellen. Unter den Gründen, welche Keferstein der gangbaren Theorie vom Ursprunge der Quellen entgegenstellt, sind folgende drei die wichtigsten. Zuerst soll noch durch keinen directen Versuch nachgewiesen worden seyn, dafs die atmosphärischen Wasser tiefer als einige Fufs in die

---

1 Vergl. Otto in G. XII. 614.

2 Einleitung zur math. und physik. Kenntnifs d. Erdkugel. Aus d. Holl. übers. durch Kaestner. Leipz. 1755. 4. S. 295.

3 Versuch einer neuen Theorie der Quellen und insbesondere der Salzquellen. In dessen: Teutschland geognostisch-geologisch dargestellt. Bd. V. Hft. 1 ff.

4 Journ. de Phys. LX. 306.

5 Ebend. 1806. p. 31.

6 Ueber d. Organisation und das eigenthümliche Leben des Erdkörpers.

7 Grundzüge einer Naturgeschichte. Jena 1817.

Erde dringen, dagegen die wenigen angestellten und die allgemeine Erfahrung lehren, dafs ein solches Eindringen nur bis zu geringer Tiefe statt finde. Hierauf ist indefs zu erwiedern, dafs die hier erwähnten Versuche bereits oben gewürdigt worden sind, rücksichtlich der Erfahrung im Allgemeinen aber lehrt diese gerade das Gegentheil. Das unaufhörlich in Höhlen und Bergwerken herabtröpfelnde Wasser, dessen Menge dem Reichthume der Hydrometeore stets proportional ist, namentlich in der Höhle bei Scelicze in Ungarn während des Winters einen perennirenden Bach bildet, im Sommer aber eine unglaubliche Menge von Eis erzeugt [1], die Bildung des Tropfsteins, welcher nur dann gefärbt ist, wenn das von der Erdoberfläche herabsinkende Wasser die dazu erforderlichen Theile, namentlich den schwärzenden Kohlenstoff, aus zersetzten organischen Körpern der obern Kruste mitbringt [2], und die Quellen, die nach starkem Regen stark sprudelnd, z. B. im Zirknitzer See, sichtbar hervorbrechen, sind gewifs genugsam deutlich sprechende Thatsachen, die keinem Geognosten unbekannt seyn können. Ein zweiter Einwurf besagt, dafs in der Erde keine unterirdischen Wasserbehälter existiren sollen, von denen man den constanten Abflufs der Quellen ableiten könnte; allein bei der Aufstellung dieses Arguments mufs man doch geradezu die zahlreichen Erfahrungen von den übergrofsen Wassersammlungen in den Höhlen, namentlich in der Adelsberger, und von den aus ihr strömenden Bächen aus dem Gedächtnisse zahlloser Beobachter verschwunden glauben. Endlich wird auch die Existenz der heberartigen röhrenartigen Räume in Abrede gestellt, durch welche das Aufspringen der Quellen bedingt werden soll. Wenn man solche Canäle verlangt, die genaü wie unsere Heber gebogen seyn sollen, so dürfte es allerdings schwer halten, diese aufzufinden, denn so einfach auch einige intermittirende Brunnen hieraus erklärbar sind, so hat man doch bis jetzt noch bei keinem der letztern solche Heber wirklich aufgefunden; allein Canäle, die bald aufsteigend, bald niedergehend und gebogen wie communicirende Röhren manche Phänomene der Quellen eben so einfach als genügend erklären, sind beim Nachgraben der

---

1 Windisch Geographie von Ungarn. Presburg 1780.

2 Parrot theoretische Physik. Th. III. S. 89.

Quellen oft genug wahrgenommen worden, um diese ohnehin wahrscheinliche Thatsache sattsam zu beweisen.

Keferstein huldigt diesemnach einer andern Theorie, welche der Erde ein organisches Leben und ein hierdurch bedingtes Athmen beilegt, in Folge dessen atmosphärische Luft eingesogen, mephitische dagegen ausgestofsen und aus dem Sauerstoffgas der Atmosphäre das Wasser der Quellen gebildet werden soll. Dieses ist eine Hypothese, die billig erst bewiesen oder mindestens durch Gründe unterstützt werden sollte; denn es genügt nicht zu fordern, dafs dieselbe widerlegt werden möge. Inzwischen finde ich keinen andern Beweis angeführt, aufser den, dafs die Erde mephitische Gasarten ausstöfst, woraus dann das Athmen derselben und die Wasserbildung in ihrem Innern gefolgert wird. Allein so gewifs es auch ist, dafs einige mineralische Quellen, die Vulcane und manche Höhlen eine grofse Menge mephitischer Gasarten ausstofsen, so ist damit dieser Exhalationsprocefs über die ganze Erdoberfläche, namentlich über die weiten Ebenen, noch keineswegs erwiesen, und wenn man auch die gesammte Menge der ausgestofsenen Gase nach ungefährem Ueberschlage vereinigt dächte, so würde das dieser zugehörige Sauerstoffgas nach achthundertmaliger Verdichtung noch nicht hinreichen, um das Wasser nur eines einzigen Stroms, z. B. des Rheins, des Po oder gar der Donau zu liefern, nicht zu gedenken, dafs der Ursprung des zur Wasserbildung erforderlichen Hydrogengas, dessen Menge dem Volumen nach doppelt so grofs seyn müfste, nicht nur nicht nachgewiesen, sondern selbst die Nothwendigkeit und Möglichkeit von dessen Existenz mit keinem Worte nur erwähnt wird. Wie oft daher auch wiederholt werden mag, dafs die Erde mephitische Gasarten ausstofse und dafs solche sich in manchen Bestandtheilen ihrer äufsern Kruste befinden, gleichsam als wollte man hierdurch die Aufmerksamkeit von der eigentlichen Schwierigkeit der Aufgabe ablenken, so ist damit die Hypothese noch nicht einmal zum vierten Theile begründet, indem die eine Hälfte der zur Wasserbildung erforderlichen Substanzen gar nicht berücksichtigt und über die andere keine Bestimmung des Quantitativen beigebracht wird. Ganz anders verfuhr Mariotte, indem er zur Unterstützung seiner Hypothese eine Berechnung der Wassermenge, die durch die Hydrometeore gegeben wird und die

durch die Flüsse dem Meere wieder zuströmt, nach den Ergebnissen wirklicher Messungen anstellte, deren Resultate durch Keferstein zwar bezweifelt, aber keineswegs widerlegt werden.

Inzwischen ist die beliebte Athmungshypothese nicht blofs durchaus unbegründet, sondern selbst in sich ganz unhaltbar. Zuvörderst zeigt sich die Erde bestimmt als ein unorganischer Körper, schon in ihrer Form, die erweislich aus einem frühern Flüssigkeitszustande unter dem Einflusse der Schwungkraft entstanden und beiden gemeinsam wirkenden Bedingungen durchaus angemessen ist. Die vorherrschende Krystallisation der ältern Felsarten und die Lagerungsverhältnisse der jüngern Formationen zeigen unwidersprechlich die Abwesenheit jeder organischen Thätigkeit und die vorherrschende Wirksamkeit rein physischer Kräfte. Noch ist nirgends in der Erde auch nur ein einziges Organ aufgefunden worden, dessen Functionen über die mechanischen und chemischen Wirkungen hinausgehn, wie z. B. der Kreislauf der Säfte in den Pflanzen sich nicht auf Capillarität zurückführen läfst. Zweitens aber finden wir den Athmungsprocefs blofs bei den höhern organischen Wesen, den Animalien; denn obgleich auch die Vegetabilien Gasarten aufsaugen und andere dagegen ausstofsen, so kann doch dieses nur figürlich ein Athmen genannt werden, und bei unorganischen Körpern würde es zuletzt zu einer lächerlichen Wortverdrehung führen, wenn man jedes Aufnehmen und Ausstofsen einer Gasart durch den Ausdruck *Athmen* bezeichnen wollte. Drittens endlich ist es eine seltsame Verwirrung der Begriffe, die Wasserbildung als eine unmittelbare Folge des Athmens zu betrachten. Keferstein sagt zwar: die organischen Wesen verzehren Sauerstoffgas und hauchen dagegen mephitische Gasarten und *Wasserdämpfe* aus, und eben so findet bei der Erde die Aufnahme des Sauerstoffgas, das Aushauchen mephitischer Gasarten und Wasserbildung statt, so dafs wir hiernach die Quellen als das Resultat eines Athmungsprocesses betrachten können; allein ist denn bei organischen Körpern das Wasser ein Product des Athmens? Keineswegs, vielmehr wird blofs bereits vorhandenes in Dampfgestalt frei und müfste daher auch in der Erde schon vorhanden seyn, bei welcher Voraussetzung es dann keines Athmungsprocesses bedarf, um das Hervorbrechen desselben in den Quellen zu erklären.

Als Anhänger und Erweiterer seiner Hypothese nennt Keferstein namentlich Meinecke [1], Müller [2] und Spindler [3], welcher sogar dem Erdorganismus eine freithätige, mit dem Monde in Polarität begriffene Handlungsweise beilegt und die Quellen als Absonderungen durch Secretionsorgane betrachtet, die sich die Erde bei ihrem beginnenden Leben selbst gebildet hat, wonach also (vermuthlich in Folge von Polarität) ihre Willensthätigkeit schon vor der Ausbildung ihrer Organe existirt hat. Berzelius bemerkt hierbei etwas naiv, dafs die Erde hiernach mit vielen Nieren versehn seyn müsse. Indefs wird man keine nähere Prüfung solcher Hypothesen hier erwarten.

Mangelhafte und irrige Ansichten vom Wesen und Ursprunge der Quellen erzeugten noch in neuester Zeit das seltsame Vorurtheil, dafs die grofse Wassermenge bei den merkwürdigen Ueberschwemmungen am Ende des Jahrs 1824 durch Erdbeben und vulcanische Kräfte aus der Erde gekommen sey, und weil es den willkürlichen Hypothesen nicht leicht an beweisenden Erfahrungen fehlt, so sollten an manchen Orten nicht blofs Erschütterungen mit Getöse verbunden wahrgenommen, sondern auch reichliche Ergiefsungen des Wassers aus der Erde beobachtet worden seyn [4]. Das vermeintliche Getöse wurde bald auf das Toben des Sturms und das Rauschen der Wasserfluthen zurückgebracht, das Hervorbrechen des Wassers an manchen Orten, wo dieses sonst nicht zu geschehn pflegt, liefs sich aber aus der Menge des gefallenen Regens nur allzuleicht erklären, da es eine Menge von Quellen giebt, die blofs in nassen Zeiten Wasser haben, in trocknen aber versiegen. Allerdings werden in seltnen Fällen bei vulcanischen Ausbrüchen grofse Wassermassen ausgeworfen, allein dieses

1 Schweigg. Journ. VIII. 194. IX. 395.

2 Keferstein a. a. O. S. 125.

3 Beschreibung der Heilquellen zu Bocklet. Würzburg 1818. S. 76.

4 Die grofsen Stürme und Ueberschwemmungen in Deutschland, England, Frankreich, Rufsland u. a. Ländern Europa's im Jahr 1824. Leipz. 1824. 8. Die zu Munnequeborn in Friesland angeblich entstandene Quelle zeigte sich bei näherer Untersuchung als durchgedrungenes Wasser. S. Natuurkund. Verhandel. van de Hollands. Maetschapp. der Wetensch. te Haarlem. T. XIII. 307.

geschieht blofs an beschränkten Orten und plötzlich, wenn nicht, wie meistens der Fall zu seyn pflegt, der durch Hitze geschmolzene Schnee der Eisgebirge die Fluthen erzeugt; dafs aber mehrere Tage anhaltend die Erde so viel Wasser auswerfen sollte, um die damaligen grofsen Ueberschwemmungen zu erklären, steht mit hydrostatischen Gesetzen im grellsten Widerspruche. Aufserdem aber liefs sich leicht nachweisen, dafs jene Wasserfluthen sich gerade an denjenigen Orten, wo durch Gewitter unglaubliche Regenmengen herabstürzten, und stets als unmittelbar diesen folgend zeigten, und Schübler[1] bewies aufserdem in Uebereinstimmung mit den von mir selbst[2] bekannt gemachten Angaben, dafs die Menge des herabgefallnen Regens mit der Gröfse der erzeugten Wasserfluthen auffallend genau übereinstimmte.

II. Oertlichkeit der Quellen.

Aus den Betrachtungen über den Ursprung der Quellen folgt, dafs es derselben überall geben müsse, sobald man tief genug gräbt, denn man darf voraussetzen, dafs von dem Wasser der Hydrometeore allmälig ein Theil tiefer in die Erde dringt, durch feine Canäle an den tiefsten Stellen sich ansammelt und zur Speisung eines gegrabenen Brunnens dient. In der Regel wird man daher auch auf eine sogenannte Wasserader treffen, wenn man das Graben bis unter den Spiegel des Meers eines benachbarten Sees oder grofsen Flusses fortsetzt. Oft trifft man jedoch schon früher auf Wasser, welches nicht als eigentliches Quellwasser, d. h. auf die angegebne Weise aus den Hydrometeoren direct entstandnes, zu betrachten ist, sondern aus den Flüssen und Seen oder sonstigen stagnirenden Wassern durch die lockere Erde dringt und daher den Salzgehalt des Meers, wenn es aus diesem abstammt, beibehält, oder durch die verschiednen auflöslichen Substanzen der obern Erdkruste und stagnirender Gewässer verunreinigt, folglich nicht als ein gutes, gesundes und angenehmes Quellwasser trinkbar ist. Brunnen dieser Art findet man häufig in weit ausgedehnten Ebenen, und das tiefere Graben zur Erlangung

1 Correspondenzblatt des Würtemb. landwirthschaftl. Vereins. 1825. VII. 191.

2 G. LXXIX. 129.

eines guten Quellwassers ist dann meistens fruchtlos, da solches wegen Hindernisse des Bodens nicht überall vorhanden seyn kann, auch macht der Andrang des reichlichen, in gröſserer Höhe angesammelten und eindringenden Wassers eine bedeutend tiefere Grabung unmöglich, wie dieses namentlich in solchen Ebenen der Fall ist, die bei weiter Ausdehnung sich nicht zu gröſserer Höhe über den Meeresspiegel erheben. Solche Brunnen liefern dann ein brakisches, unangenehmes Wasser, welches am besten durch künstliches Filtriren trinkbar gemacht wird[1]. Endlich hat man keine Hoffnung, Quellwasser zu finden, wenn man in die Urgebirgsarten eindringen muſs, denn obgleich es auch in diesen Quellen giebt, so sind sie doch selten, und die geringe Wahrscheinlichkeit, man darf sagen die bloſse Möglichkeit, sie aufzufinden, steht in gar keinem Verhältnisse zu dem kostspieligen Eindringen in jene harten Felsarten.

Nimmt man die Quellen im weitern Sinne des Worts, so lassen sich im Allgemeinen die *unterirdischen* von den *zu Tage ausgehenden* unterscheiden, wobei die in Höhlen, Flüsse, Seen und selbst das Meer mündenden den letztern beizuzählen sind, die erstern aber nur beim Graben der Brunnen oder dem Herabsenken der Schachte in Bergwerken zum Vorschein kommen. Die zu Tage ausgehenden Quellen finden sich bei weitem am zahlreichsten am Fuſse der Gebirge, in Bergschluchten und Thälern, vorzugsweise häufig da, wo über den hoch hinaufragenden Urgebirgen nicht sehr mächtige Lagen von Sandstein oder Kalksteinarten oder nur lockere Erdschichten sich befinden. Stark bewaldete, ausgedehnte, mit mäſsigen Vertiefungen wechselnde Berg- und Hügelgruppen erzeugen allezeit eine groſse Menge oder einzelne sehr reiche Quellen, weit seltener oder gar nicht findet man sie dagegen an den äuſsersten, in die Ebenen sich verlaufenden Abhängen der Hügel, insbesondere wenn diese wegen ihrer südlichen Lage den Winterschnee nicht lange behalten und wegen Abschüssigkeit ihrer Oberfläche das meteorische Wasser schnell abflieſsen lassen. Alles dieses steht mit dem angegebnen Ursprunge der Quellen so im Einklange und wird so häufig durch die zahlreichsten Erfahrungen bestätigt, daſs es keines weitern

1 Vergl. *Filtriren*. Bd. IV. S. 245.

Beweises oder specieller Belege bedarf. Dabei hat man es am auffallendsten gefunden, dafs einige Quellen sich in so beträchtlicher Höhe und, wie man zu sagen pflegt, sogar auf den Gipfeln der Berge befinden, woraus man ein gewichtiges Argument gegen die durch MARIOTTE aufgestellte Theorie hernehmen wollte. DERHAM[1] führt eine Quelle bei Upminster als Beispiel an, die nicht mehr als etwa 100 F. über der Meeresfläche ihr reichliches Wasser aus einem ungefähr 16 F. höhern Hügel erhalten müsse. Am bekanntesten in dieser Hinsicht ist der *Hexenbrunnen*, eine reiche Quelle anscheinend auf der Spitze des Brockens, welches jedoch nach genauerer Messung 18 F. unter dem Gipfel der flach gewölbten Kuppe dieses Bergs liegt. Merkwürdig ist es allerdings, dafs eine so wenig tief mündende Quelle aus einem nicht einmal bewaldeten Berggipfel entspringt, perennirend fliefst und täglich 1440 Kub. Fufs Wasser liefert[2]; allein wenn man den Halbmesser der Fläche, die sich oberhalb derselben befindet, nur zu 500 F. annimmt und die Menge des jährlich darauf fallenden hydrometeorischen Wassers 2 Fufs hoch schätzt, dabei vorausgesetzt, dafs der aus Granitsand bestehende Boden alles dieses bis auf den darunter gelagerten Granit herabsinken läfst, so könnte die Quelle täglich über 4000 Kub. F. liefern. Das Auffallende des Phänomens verschwindet jedoch vollständig, wenn man berücksichtigt, wie früh im Jahre dort Schnee fällt und wie lange er sich erhält, wenn man ferner in Anschlag bringt, dafs eben diese Kuppe fast beständig in Nebel gehüllt und von Wolken umlagert ist, deren Dünste die oben wachsenden Moose und Kräuter bis zur Ansammlung in starke Tropfen benetzen. Kein Wunder also, dafs diese Quelle perennirend und meistens mit gleicher Stärke fliefst, so dafs es heifst, sie versiege niemals; allein dieses geschieht zwar selten, aber doch zuweilen, wie namentlich im Sommer 1786 der Fall war[3]. Auf gleiche Weise lassen sich auch die sonstigen hoch liegenden Quellen leicht erklären.

Eine grofse Menge von Quellen ergiefsen ihr Wasser nach

---

1 Physicotheol. L. II. cap. 5.

2 OTTO System einer allgemeinen Hydrographie des Erdbodens. Berl. 1800. S. 72.

3 MANGOURIT Voyage en Hannovre. Par. 1805. p. 479.

einem kürzern oder längern Laufe über der Erdoberfläche in die nächsten Bäche, Flüsse oder Ströme, was durchaus nicht auffallend erscheinen kann, da die meisten Flüsse in den Thälern der Bergketten entspringen, dort die lockere Erde und das Gerölle bis auf das feste Gestein wegspülen, so dafs die von den angrenzenden Hügeln und Bergen herabfliefsenden Quellen, wenn sie die lockere Masse nicht bis zur gleichen Tiefe wegspülen, in jene hineinfallen müssen, wenn sie aber selbst bis auf das feste Gestein einsinken, ihr Wasser mit dem der Flüsse unter dem Spiegel der letztern mischen. Die Erscheinung ist der Natur der Sache nach eine sehr gewöhnliche, und man darf daher in bergigen und zugleich waldigen Gegenden an den Ufern der Flüsse nur suchen, um eine Menge solcher verborgener Quellen zu finden, deren wärmeres Wasser, wenn es reichhaltig ist, die Bildung des Eises im Winter hindert oder erschwert. Auf gleiche Weise haben fast alle Seen unterirdische Quellen, und einige verdanken diesen ihre Existenz, namentlich diejenigen, aus denen vieles Wasser abläuft, ohne einen sichtbaren Zuflufs. So wird unter andern der *Czirknitzer See* durch einige bekannte unterirdische Quellen gespeist, auch entdeckte Spallanzani[1] in dem salzigen See bei Spezzia eine so starke Quelle süfsen Wassers, dafs sich kein Boot über derselben halten konnte. Als er das seinige festbinden liefs, fand er die Quelle in 38,5 Fufs Tiefe auf und glaubte gewifs zu seyn, dafs sie durch einen in der Nähe versiegenden Bach gebildet werde. Hiernach also kann es nicht mehr auffallend seyn, dafs selbst im Meere Quellen süfsen Wassers gefunden werden. So zeigt sich unter andern eine solche sehr reichhaltige nach de la Metherie[2] in der Nähe der Insel Cuba, auch fand v. Humboldt[3] an der Mündung des Rio Lagartos in der Gegend des Cap Catoche ungefähr 400 Meter vom Ufer stark sprudelnde Quellen süfsen Wassers mitten im Meere, die dort *boccas de Conil* genannt werden; überraschend ist aber die Nachricht von Buchanan[4], dafs er in der Bai von Chittagong, 125 engl. Meilen von die-

1 Journ. de Phys. 1786. Jul.
2 Tableau de la nature. T. II. p. 174.
3 Journ. de Phys. LXIX. 51.
4 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. IV. p. 369.

sem Orte und 100 von Junderbunds, mitten im Meereswasser eine mit starker Bewegung sprudelnde und ihr Wasser weit verbreitende Quelle süfsen Wassers fand. Die Entdeckung wurde zufällig gemacht, als man neben dem Schiffe Wasser zum Waschen schöpfte und dieses trinkbar fand. Es zeigte eine etwas gelbliche Farbe und beschwerte diejenigen, die viel davon getrunken hatten. Im persischen Meerbusen bei der kleinen Insel Arad unfern der Stadt Monama sind in der See in einer Tiefe von ein bis zwei Faden zur Ebbezeit gegen 30 Quellen süfsen Wassers, welches die Araber auffangen, indem sie lederne Schläuche mit der Oeffnung über die Mündung der Quellen festhalten, die durch das empordringende Wasser alsbald gefüllt werden [1].

Die mit dem Namen der unterirdischen bezeichneten Quellen unterscheiden sich in keinem wesentlichen Stücke von denen, die zu Tage ausgehn, da ja ohnehin die letzteren vor ihrem Ausbruche in gröfserer oder geringerer Tiefe unter der Erdoberfläche aus dem zusammenfliefsenden atmosphärischen Wasser gebildet werden. Findet sich dann kein schicklicher Ort, wo eine undurchdringliche Schicht sie auf die Oberfläche führt, so rinnen sie unterirdisch weiter, oft auf beträchtlich lange Strecken, sinken mehrmals abwechselnd tiefer und steigen wieder in die Höhe, werden nicht selten zwischen zwei undurchdringliche Erd- oder Steinlager eingeschlossen und bahnen sich endlich an einer geeigneten Stelle einen Abflufs. Solche unterirdische Quellen, die in unermefslicher Menge überall verbreitet sind, wo sich in der Nähe bewaldete Hügel oder Berge befinden, die sich zur Erzeugung derselben eignen, sucht man beim Graben der Brunnen auf. Man gräbt dann in der Regel durch die Dammerde, den aufgeschütteten Boden, durch mehr oder weniger mächtige und ungleich häufige Lager von Erdarten, selbst mitunter von Steinen, bis man in gröfserer oder geringerer Tiefe auf eine Schicht von grobem Kiessande oder eigentlichem Gerölle stöfst, in welcher fast ohne Ausnahme Quellen gefunden werden, die sich durch das schnelle Emporsteigen eines klaren Wassers von den Ansammlungen des in naher Umgebung durch die obere Erdkruste

---

1 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XV. p. 140.

dringenden Wassers unterscheiden. Solche Quellen sind reicher oder ärmer, steigen meistens nur bis zu einigen Fuſs in die Höhe, liegen an nahen Orten meistens in gleicher Tiefe, in der Nähe von Urgebirgsarten aber kann ihre Tiefe sehr ungleich seyn und man darf an allen Orten, deren Umgebung der angegebnen Erzeugung von Quellen günstig ist, mit gröſster Wahrscheinlichkeit darauf rechnen, sie zu finden, sobald man nur tief genug gräbt. Das bisher Gesagte ist den Brunnengräbern aus der Erfahrung hinlänglich bekannt, und wenn es sich darum handelt, in voraus zu bestimmen, ob man Hoffnung habe, an irgend einem Orte solches Quellwasser zu finden, so müssen hierüber die beiläufig erwähnten geognostischen und physikalischen Merkmale entscheiden, ohne daſs es dazu der ehemals üblichen, aber durchaus nutzlosen, *magnetischen Wassernadel* (Wünschelruthe) bedarf, die Leupold[1] beschreibt und wovon man im Anfange dieses Jahrhunderts abermals Gebrauch machen wollte. Selten wird man, der groſsen Kostbarkeit wegen, in Felsen eindringen, um Quellen zu suchen, es sey denn, daſs solche Brunnen für Festungen unentbehrlich sind. Es findet jedoch hinsichtlich der Felsarten in dieser Beziehung ein bedeutender Unterschied statt. In die Urgebirge an sich kann das Wasser der Hydrometeore in der Regel nicht eindringen, allein auf ihren höchsten Spitzen, hauptsächlich auf den Wölbungen der Kuppen, sind diese Felsarten meistens zerklüftet, es befinden sich dort beträchtliche Risse, Spalten und Zwischenräume zwischen den einzelnen Blöcken, in denen das Wasser herabsinkt und Quellen bildet, die man daher nicht selten findet, indeſs wird man der groſsen Kosten wegen bei allezeit vorhandener Ungewiſsheit eines günstigen Erfolgs in ihnen keine Brunnen graben, wie groſs auch das Bedürfniſs, für eine Festung z. B., seyn möchte. In Uebergangsgebirgen sind die Quellen schon zahlreicher, noch mehr aber in den Flötzgebirgen und überhaupt den jüngern Formationen, bis zum aufgeschwemmten Lande, wo sie wieder seltener werden. Sie sind auſserdem am häufigsten in Kalksteingebilden, finden sich in diesen und in Sandsteingebirgen ungleich tief und fehlen bei vorwaltenden äuſseren

---

1 Theatrum machinarum hydrotechnicarum. N. Aufl. Leipz. 1774. fol. p. 12.

günstigen Bedingungen nie an der Grenze dieser und der Urgebirgsarten[1].

In den neuern Zeiten hat man die Mühe des Grabens bis zu beträchtlichen Tiefen zu umgehn gesucht, statt dessen Bohrlöcher in die Erde eingetrieben, um aus diesen das Wasser auf eine leichtere Weise zu erhalten. Durch dieses Verfahren gelangt man zu den sogenannten Bohrbrunnen, aus denen man salziges oder süſses, selten mineralisches, Wasser fördert, weil die zu Mineralquellen geeigneten Orte sich nicht wohl vorher erkennen lassen, wenn nicht zu Tage ausgehende Mineralquellen darüber den thatsächlichen Beweis geben. Wenn man die asiatischen Bohrbrunnen abrechnet, so hat man in den übrigen Ländern erst in den neuern Zeiten angefangen, die Salzquellen durch Bohrversuche aufzufinden, was übrigens sehr günstige Resultate herbeigeführt hat, wie auch aus der Natur der Sache von selbst folgt, indem man das Bohrloch unmittelbar in den Salzstock herabsenken kann, dessen Vorhandenseyn sich aus geognostischen und sonstigen Anzeigen mit ziemlicher Sicherheit vorausbestimmen läſst. Erhält man demnächst die Salzsoole unmittelbar aus dem unterirdischen Salzlager, dessen Salz entweder durch bereits vorhandenes, oder im ungünstigern Falle durch von oben hineingelassenes Wasser aufgelöst ist, so ist dieselbe gesättigt und man bedarf des kostbaren Gradirens nicht. Werden statt dessen die Quellen süſsen Wassers mittelst des Bohrens aufgesucht, so müssen vorher die örtlichen Verhältnisse wohl berücksichtigt werden, um mindestens mit einiger den aufzuwendenden Kosten proportionalen Wahrscheinlichkeit auf ein günstiges Resultat rechnen zu können. Es ist um so nothwendiger, dieses nie zu vernachlässigen, da das Anlegen der sogenannten Bohr- oder artesischen Brunnen erst in den neuesten Zeiten allgemeiner in Anwendung gekommen ist und daher sowohl wegen des Reizes der Neuheit, als auch in Gemäſsheit der allerdings bereits erhaltnen höchst glänzenden Resultate leicht überschätzt wird, indem manche sogar der Meinung sind, man könne überall Quellen für artesische

---

1 Vergl. die zahlreichen Werke über die Anlegung artesischer Brunnen, wo dieser Gegenstand meistens mit zur Untersuchung kommt.

Brunnen finden und dürfe nur tief genug bohren, um sie zu erhalten[1].

Bei den Bohrbrunnen beabsichtigt man, eine unterirdische Quelle zu finden, wie diese eben beschrieben worden sind, und der Zweck ist daher kein anderer als derjenige, den man beim Graben der Brunnen zu erreichen wünscht, selbst das Verfahren ist dem Wesen nach dasselbe, jedoch sind die Kosten des Bohrens ungleich geringer als die des Grabens, hauptsächlich aber kann man durch das erstere Verfahren überall und viel leichter zu bedeutenden Tiefen gelangen, als durch das letztere. Es liegt z. B. nicht aufser dem Bereiche der Möglichkeit, bis zu mehr als 1000 F. Tiefe zu bohren und die so tief liegenden Quellen bis zur Oberfläche der Erde zu fördern, die Anlage eines so tief gegrabenen Brunnens würde aber fast unerschwingliche Kosten verursachen und könnte unter ungünstigen Umständen durch den Zudrang des von oben und seitwärts einsickernden Wassers und den Druck des lockern Erdreichs leicht ganz unmöglich werden. Obgleich man aber in Gemäfsheit der oben bereits angestellten Betrachtungen durch das Graben und Bohren leicht und mit gröfster Wahrscheinlichkeit überall zu einer Ansammlung von jenem sogenannten Tagewasser gelangt, so sind solche doch auf jeden Fall keine Quellen, die man durch Graben oder Bohren zu erreichen beabsichtigt. In jenem Falle ist es aber weit besser, Brunnen zu graben, als zu bohren, weil sich in den gröfsern Räumen mehr Wasser, welches der Natur der Sache nach in der Regel nicht tief zu suchen ist, ansammelt, womit man sich beim Mangel eigentlicher Quellen behelfen mufs, obgleich es schlechter ist und solche Brunnen bei anhaltender Dürre und weiter Entfernung von Seen oder Flüssen leicht versiegen. Hiernach ist also das Bohren der Brunnen in solchen Gegenden, in denen man eigentliche Quellen nicht erwarten kann, nicht blofs unsicher, sondern auch ganz nutzlos. Letzteres ist z. B. der Fall in weiten Ebenen, in denen sich keine bewaldeten Hügel oder Wälder befinden; in solchen Gegenden, wo das Wasser der Hydrometeore durch die fruchtbare Erdkruste aufgesogen wird und zur Ernährung der Pflanzen dient oder verdunstet, insbesondere wenn die tiefern Erdschichten

---

1 Bibliothèque univ. T. XXXIX. p. 193. 204.

locker und sandig sind, in denen sich daher die von entfernten Hügeln herabfliefsenden Quellen verlieren, ehe sie an den Ort gelangen können, wo man sie für Brunnen zu benutzen wünscht. Wem die Vorstellung vom Ursprunge und dem Verhalten der Quellen geläufig ist, der wird nach vorgängiger Untersuchung der geognostischen Beschaffenheit eines bestimmten Orts und seiner Umgebungen leicht entscheiden können, welche geringere oder gröfsere Wahrscheinlichkeit des Auffindens einer Quelle vorhanden ist [1]. Von der Unmöglichkeit oder, wenn man diese nicht zugestehn will, der höchsten Unwahrscheinlichkeit des Vorhandenseyns solcher sogenannter *lebendiger* Quellen in der Tiefe beginnt die geringere Wahrscheinlichkeit, sie zu finden, bis zur höchsten, nahe an Gewifsheit grenzenden, wonach es dann zu beurtheilen ist, ob man überhaupt Bohrversuche anstellen und wie weit man sie im Falle des Mifslingens fortsetzen soll; denn es ist auf der andern Seite wiederum klar, dafs auch unter den günstigsten Bedingungen solche Quellen sich nicht an allen Puncten irgend eines gegebenen Orts vorfinden, weswegen es Beispiele giebt, dafs man an gewissen Stellen sie antrifft, an andern, selbst nicht viele Fufs davon entfernten aber sie vergebens sucht. Auf gleiche Weise ist es sehr auffallend, dafs man an Orten, die nur wenige Schritte von einander abstehn, artesische Quellen findet, deren jede für sich zu bestehn scheint und aus denen das Wasser sogar ungleich hoch steigt, insbesondere wenn sie bis zu verschiedenen Tiefen gebohrt sind [2]. Hierüber lassen sich aufser allgemeinen, nach den Oertlichkeiten zu modificirenden, Regeln keine speciellen Vorschriften ertheilen.

Es ereignet sich bei den gegrabenen sowohl als auch den gebohrten Brunnen zuweilen, dafs das erreichte ächte Quellwasser hoch und selbst bis über die Oberfläche der Erde emporsteigt; am meisten ist dieses jedoch bei den gebohrten der Fall, indem sich bei den gegrabenen das wirklich aufsteigende Wasser sehr leicht in den obern, lockern Erdschichten ver-

---

1 Vergl. Hericart de Thury in Ann. des mines. T. VI. p. 321., welcher aus solchen Gründen folgerte, dafs bei Lyon keine artesischen Brunnen zu erwarten seyen.

2 Ebenders. in Annal. de l'Indust. T. II. p. 62.

liert, insbesondere wenn diese bedeutend mächtig und die aufgefundnen Quellen minder reich sind. Manche verstehn daher unter artesischen Brunnen bloſs solche, bei denen das in gröſserer Tiefe gefundene Quellwasser in Röhren aufsteigt und in der Erdoberfläche ausflieſst, allein dann müſste man zwischen artesischen und Bohrbrunnen einen Unterschied machen, da das Bohren der Brunnen vom Graben derselben nicht wesentlich verschieden ist und man also eben sowohl gebohrte als gegrabene Brunnen finden muſs, deren Wasser nicht bis zur Oberfläche der Erde aufsteigt. Allerdings hat es seine Richtigkeit, daſs man in Artois vermittelst des Bohrens häufig solche Quellen auffand, deren Wasser aus beträchtlicher Tiefe bis über die Oberfläche der Erde emporstieg, wovon auch der Name der *artesischen* Brunnen herrührt, allein man darf dennoch dieses Letztere nicht als eine nothwendige Bedingung bei den Bohrbrunnen ansehn. Obgleich also, von dieser Seite betrachtet, ein Unterschied zwischen den Bohrbrunnen und den artesischen anzunehmen wäre, so werden doch die Bohrversuche auf süſses Quellwasser fast allgemein nur in der Absicht unternommen, um dasselbe aus bedeutender Tiefe bis zu beträchtlicher Höhe, am besten über die Oberfläche der Erde aufsteigend zu erhalten, und da es auch bei den eigentlichen artesischen Brunnen nicht als nothwendige Bedingung angenommen wird, daſs in ihnen das Wasser bis über die Oberfläche der Erde aufsteigt, so darf man unbedenklich die artesischen mit den Bohrbrunnen als gleichbedeutend ansehn.

Die seit geraumer Zeit bekannten eigentlichen, jedoch früher nicht mit diesem speciellen Namen benannten, artesischen Brunnen verdanken ihren Ursprung gewissen eigenthümlichen örtlichen Verhältnissen, die zwar ausnehmend verschieden seyn können, im Ganzen aber sich auf folgende Weise anschaulich darstellen lassen. Wenn m das Ende einer Bergkette oder den Einschnitt eines Thals bezeichnet, worin Quellen enthalten sind, die sich in die muldenförmige Vertiefung cgd über einer für das Wasser undurchdringlichen Erd- oder Felsart verlieren, über welcher ein oder mehrere Lager verschiedener, für das Wasser gleichfalls undurchdringlicher Erd- und Felsarten gelagert sind, so wird sich in den Zwischenräumen eine Menge Wasser versammeln und an irgend einem entfernten

Fig. 181.

Orte entweder als Quelle zum Vorschein kommen, oder sich im lockern Erdreich verlieren. Angenommen n n sey eine horizontale Ebene, in welcher sich an irgend einem Orte der Ausgang dieser Wassersammlungen befindet, so ist klar, dafs aus jedem Bohrloche, welches unter dieser Ebene bis zur unterirdischen Quelle herabgesenkt wird, Wasser bis zur Höhe dieser Ebene, also über die unter derselben befindliche Erdoberfläche, aufsteigen wird.

Es ist dieses jedoch nur eine allgemeine und ungefähre Darstellung, aus welcher so viel hervorgeht, dafs die artesischen Brunnen jederzeit eine gewisse eigenthümliche Beschaffenheit der Erd- und Felslager voraussetzen, desgleichen dafs die aufgefundnen ächten Bohrquellen nicht allezeit nothwendig über die Erdoberfläche aufsteigen müssen, sondern oft auch mehr oder minder beträchtlich unter derselben zurückbleiben können. Die Unterlagen der artesischen Quellen können Urgebirgsarten, feste jüngere Felsarten und selbst wasserdichte Erdarten, als eisenschüssiger Mergel und Thon seyn, und es ist allezeit ein sichres Zeichen, dafs man auf keinen günstigen Erfolg mehr rechnen dürfe, wenn das Bohrloch bis auf Urgebirgsarten herabgesenkt ist, ohne eine Quelle zu erreichen, indem man in solcher zu bohren auf keine Weise fortfahren wird. Ueber den unterirdischen Wasserräumen sind mehrere, oft zahlreiche Schichten gelagert, die so viel gröfsere Hoffnung eines günstigen Erfolgs versprechen, je häufiger sich solche von Thon und Mergel unter ihnen befinden, denn jede derselben läfst nach dem Durchbohren eine Wasserquelle erwarten. In sehr vielen Fällen trifft man auch wiederholt auf minder reichhaltige Ansammlungen, setzt aber dennoch das Bohren zuweilen fort, um wo möglich reichere zu finden. Ein Beispiel zahlreich wechselnder Schichten, welches ich aus Bruckmann's Werke entlehne, giebt diejenigen an, die beim Bohren eines fast 200 F. tiefen Brunnens in Erlangen durchsetzt wurden, und kann zur Uebersicht des Ganzen dienen. Von oben nach unten folgten folgende Schichten auf einander: zuerst eine beträchtliche Lage Sand, dann fester Thonsand, grauer Sandstein und brauner Thon, hierauf wieder ein beträchtliches Lager grauer thonhaltiger Sandstein, brauner Thon, Sandstein, worunter die erste Quelle zum Vorschein kam, dann Dolomit, blauer Thon und wieder Dolomit, dann eisenschüssiger Mergel, blauer

Thon, grauer Sandstein, eine stärkere Schicht mergeliger Sandstein mit etwas Kalk, Quarz- und Dolomit-Conglomerat, wieder mergeliger Sandstein und Dolomit-Conglomerat, worunter die zweite Quelle sich zeigte, hierunter eisenschüssiger Mergel, sandhaltiger Kalk, grauer Sandstein, eisenschüssiger Mergel, Dolomit, abermals eisenschüssiger Mergel, blauer Thon und grauer Sandstein, unter welchem die dritte Quelle zum Vorschein kam; endlich eisenschüssiger Mergel, grauer Sandstein, blauer Thon, wieder grauer Sandstein, eisenschüssiger Mergel und zuletzt harter, quarziger Sandstein. Zwischen den beiden letzten Schichten fand sich die vierte Quelle, jedoch stieg keine von allen bis zur Erdoberfläche hinauf und das Wasser mufste daher in einem 30 F. tiefen Brunnen gesammelt werden.

Das technische Verfahren beim Bohren der artesischen Brunnen ausführlich mitzutheilen liegt aufser den Grenzen dieses Werks. Es wird daher genügen, blofs im Allgemeinen zu bemerken, dafs man in das obere lockere Erdreich bis an eine festere Lage einen Schacht, einen gewöhnlichen Brunnen, zu graben und dann die verschiednen geeigneten Bohrer anzuwenden pflegt. Hat man blofs festes Gestein oder harte Erdschichten zu durchbohren, so ist die Operation einfach, fällt aber die losere Masse von der Seite in das Bohrloch, so müssen Röhren eingebracht und im Fortgange der Operation fortwährend tiefer eingesenkt werden. Letzteres, was bei weitem die gröfsten Schwierigkeiten verursacht, geschieht dadurch, dafs man die Röhren vermittelst der Ramme stets tiefer hinabtreibt, oder dafs man in den höhern und weitern unten engere nachschiebt. Zu den Röhren nimmt man hölzerne, besser aber eiserne, die bei wachsender Tiefe durch ihr eignes Gewicht nachzusinken pflegen, und in denen später das Wasser aufsteigen kann, ohne sich wieder in den lockern Erdschichten zu verlieren.

Erst in den neuern Zeiten hat man die artesischen Brunnen vermittelst des Bohrers aufgesucht, früher dagegen pflegte man blofs die obere Erdkruste zu durchgraben, bis man zu einer darunter liegenden Thonschicht gelangte, die man gleichfalls bis fast ans Ende durchgrub, worauf ein Rohr in die Oeffnung gesetzt und vermittelst desselben der Rest der Schicht durchstofsen wurde, so dafs das unter derselben gespannte

Wasser oft mit bedeutender Gewalt hervordrang. In einigen Fällen durchgrub der Arbeiter die ganze Thonschicht, mufste dann aber eilen sich zu entfernen, um nicht durch die Menge des hervorbrechenden Wassers in Gefahr zu kommen. In Europa scheint man diese Art Brunnen zuerst in Italien kennen gelernt oder beachtet zu haben, Dominicus Cassini[1] brachte von dort ihre Kenntnifs mit nach Frankreich, erhielt zugleich die Nachricht, dafs es in Niederöstreich ähnliche gebe, machte selbst einen gelungnen Versuch, allein seine Mittheilung darüber wurde ebenso wie die ausführliche Beschreibung von Bernardino Ramazzini[2] wenig beachtet. Nach Cassini gräbt man in jener Gegend so tief, bis die Erde von dem unter ihr drückenden Wasser aufgeschwollen zu seyn scheint. Alsdann mauert man einen doppelten Schacht auf, dessen Zwischenraum mit gut durchknetetem Lehm ausgefüllt wird, bohrt dann tiefer, bis man die Quelle erreicht zu haben glaubt, und durchstöfst endlich die tiefsten Theile der Thonschicht mit einem langen Bohrer, nach dessen Herausziehn sich der ganze Brunnenschacht mit Wasser füllt, welches oft in grofser Menge ausströmt und die benachbarten Felder bewässert. Cassini glaubt, das Wasser komme in unterirdischen Canälen von den benachbarten Appenninen[3]. Er liefs selbst im Fort Urban einen Brunnen bohren, aus welchem das Wasser frei bis 15 F. Höhe über der Erdoberfläche sprang, in Röhren aber zu einer weit beträchtlichern Höhe aufstieg.

Dieser ältern Nachrichten und Versuche ungeachtet kam diese leichte Methode der Auffindung von Quellen, die nicht selten bis zum Erstaunen reichhaltig sind, nicht zur praktischen Anwendung, bis man in den ersten Decennien dieses Jahrhunderts von dem Vorhandenseyn solcher Brunnen in der ehemaligen Grafschaft Artois Nachricht erhielt[4], die Sache

---

1 Mém. de l'Acad. T. I. p. 96.

2 De fontium mutinensium admiranda scaturigine tractatus physico-hydrostaticus. Mutinae 1691. 4. Ins Englische übers. Lond. 1697. Auch Genevae 1717. Ein Auszug in Act. Erud. 1692. p. 505.

3 Ueber die artesischen Brunnen in Italien s. Giacinto Carena Serbatoi artificiali d'acque cet. Giuntavi un' Appendice sui pozzi artesiani o saglienti. Torino 1829.

4 De la Metherie Theorie d. Erde II. 265. giebt an, von Laumont gehört zu haben, dafs in Artois mehrere Springquellen gegra-

näher untersuchte und ihre allgemeinere Anwendbarkeit erkannte, worauf dann nicht blofs viele Anleitungen zur Anlage der hiernach benannten artesischen Brunnen erschienen, sondern auch eine grofse Menge in den verschiedensten Gegenden angelegt wurden, wobei sich denn von selbst verstand, dafs die Uebertreibung der durch ihre Neuheit interessanten Sache mehrere mifslungene Versuche herbeiführen mufste. Der erste, welcher eine ausführliche Beschreibung solcher Brunnen, des Verfahrens sie zu bohren und der hierzu erforderlichen Werkzeuge bekannt machte, war GARNIER[1] in seiner 1821 von der *Société d'Encouragement* gekrönten Preisschrift, die nachher erweitert und vervollständigt das Ganze umfafste[2]. Mehr theoretische Untersuchungen über den Ursprung und die Bedingungen des Entstehens der durch Bohrversuche aufzufindenden unterirdischen Quellen hat der Vicomte HERICART DE THURY[3] mitgetheilt, aufserdem aber findet man Nachrichten über mehrere in Frankreich angelegte Bohrbrunnen in verschiednen Zeitschriften[4]. In England hat man seit geraumer Zeit schon Bohrbrunnen gekannt und dort die nämlichen Resultate erhalten, als in Frankreich[5]. Es giebt daher in London eigne Brunnenbohrmeister, die gegen ein gewisses, nach der Tiefe veränderliches, Aversum sowohl in der Umgebung der Stadt, als auch in den Provinzen die Herstellung der Bohr-

---

ben würden, ja dafs zu St. Venant ein bis 6 F. springender Brunnen aus etwa 200 F. Tiefe komme, welcher bereits 50 Jahre ohne Unterbrechung gelaufen habe.

1 De l'Art du Fontainier sondeur et des Puits artésiens. Par. 1821. Uebers. durch WALDAUF v. WALDENSTEIN. Wien 1824.

2 Traité sur les puits artésiens, ou sur les différentes espèces des Terrains, dans lesquels on doit rechercher des eaux souterraines. Ouvrage contenant la description des procédés qu'il faut employer pour ramener une partie de ces eaux à la surface du sol, à l'aide de la sonde du mineur ou du fontainier. Seconde éd. revue et augm. avec 25 pl. 4. Par. 1826. 16 Fr.

3 Considérations géologiques et physiques sur la cause du jaillissement des eaux des puits forés ou fontaines artificielles cet. Par. 1829. Vergl. denselben in Ann. des mines. T. VI. p. 321.

4 Unter andern Bulletin de la Société d'émulation pour l'Industrie nationale. 1822. Mars. Annales de l'Industrie. T. II. p. 58. u. a. a. O. Journal du génie civil des Sciences et des Arts. 1828. Oct. Poggendorff Ann. XVI. 592.

5 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XVII. p. 111.

brunnen übernehmen. In America ist die Industrie schon so weit vorgeschritten, dafs die Kunst des Brunnenbohrens dort gleichfalls bekannt werden mufste; sie scheint aber bereits seit geraumer Zeit in Anwendung gebracht worden zu seyn[1], und schon früher, als man in Frankreich wieder aufmerksam darauf wurde. Es scheint, als ob man dort zuerst die Salzlager durch Bohrung aufzufinden gesucht habe, später aber wandte man das Verfahren auch auf Quellen von süfsem Wasser an. Insbesondere sind etwa seit dem Jahre 1822 bis auf die neuesten Zeiten eine Menge artesische Brunnen in den verschiedensten Gegenden mit günstigem Erfolge gebohrt worden, wie namentlich Dickson[2] berichtet, dessen Theorie über den Ursprung der Quellen noch der Kindheit in der Wissenschaft angehört, indem er sie von einer Centrifugalkraft ableitet, die ehemals die Berge emporgetrieben habe und jetzt das aus dem Meere eingedrungene Wasser stets nach Aufsen schleudere.

In Deutschland, namentlich in Unterösterreich, hat man die Kunst des Brunnenbohrens in rohester Gestalt vielleicht am frühesten gekannt. Sie erregte die Aufmerksamkeit des Dominicus Cassini[3], als er bei seinen ausgedehnten geodätischen Messungen auch in diese Gegenden kam, und lange nachher beschrieb Belidor[4] das dabei übliche Verfahren. Nach seiner Angabe graben die Einwohner so lange, bis sie auf die Thonlage kommen, dann nehmen sie einen grofsen, etwa 6 Z. dicken Stein mit einem Loche in der Mitte und bohren durch letzteres die Thonlage durch, bis das Wasser mit Gewalt aufsteigt und den Brunnen füllt. Nach v. Jacquin[5], welcher am ausführlichsten hierüber Nachricht ertheilt, ist diese Methode des Bohrens, die man in Anwendung bringt, wenn das über der Thonschicht angesammelte Wasser nicht hinlänglich scheint und man die sogenannten Quell- oder lebendigen Brunnen verlangt, seit geraumer Zeit dort ausgeübt worden und die Zahl der letztern übersteigt in der Umgegend von Wien bei weitem

1 Darwin Travels through America. Lond. 1789.

2 An Essay on the art of boring the earth, for the obtainment of a spontaneous flow of water cet. New-Brunswick. 1826.

3 Hist. de l'Acad. T. I. p. 96.

4 Science des Ingenieurs. Par. 1734. Liv. IV. p. 82.

5 Wiener Zeitschrift. Bd. VIII. S. 257.

diejenige der blofs flachern Brunnen. Mehrere Schriftsteller haben dieselben erwähnt, z. B. Popowitsch, welcher sie von einem ungeheuern, in dortiger Gegend befindlichen, durch die Schieferlager bedeckten Wasserbehälter ableitet, und Stütz[1], welcher diese Meinung widerlegt und der Höhe jener Orte zuwider annimmt, sie reichten bis unter den Spiegel des Meers. Scholz[2] beschreibt das Verfahren auf folgende Weise. Zuerst wird die 10 bis 12 Klafter dicke Lage Grus (Schotter) in der gewöhnlichen Weite der Brunnen ausgegraben, bis man auf die 10 bis 50 Klafter mächtige Thonlage (den blauen Tegel) kommt. Diese wird entblöfst und in der Mitte des Brunnens ein gewöhnliches Brunnenrohr fest eingeschlagen, durch dieses ein Bohrer eingesenkt und damit die ganze Thonlage durchbohrt, bis man auf die Steinplatte (erhärteten kieselhaltigen Mergel oder Sandstein) kommt. Ist diese vermittelst des Steinbohrers durchbohrt, so dringt das Wasser mit solcher Heftigkeit hervor, dafs die Arbeiter sich eiligst entfernen müssen. Das Brunnenrohr wird durch Aufsätze bis zur Oberfläche des Erdbodens verlängert und dann zuletzt ein Brunnenstock mit einem seitwärts gehenden Rohre aufgesetzt, aus welchem stets reichliches Wasser ausläuft. Diese Methode ist übrigens die neuere, zuerst durch einen Bäckermeister aus Flandern, der sich in Hetzendorf bei Wien niederliefs, bekannt gewordene und durch den Zimmermeister Belghofer vielfach in Anwendung gebrachte, die also höchst wahrscheinlich aus Artois stammt. Früher pflegte man nämlich in dem Thonlager einen gewöhnlichen, 4 bis 6 F. weiten Brunnen von etlichen Fufs Tiefe auszugraben, damit sich das aus dem Bohrloche aufsteigende Wasser darin ansammeln konnte, welches also nur dann bis zur Oberfläche des Bodens gelangte, wenn die Thonschichte so hoch heraufging. v. Jacquin[3] beschreibt 41 genau untersuchte solche Brunnen in und bei Wien, in denen insgesammt das Wasser über die Oberfläche der Erde

---

1 Mineralogisches Taschenbuch, herausgegeben von Megerle v. Mühlfeld. Wien 1807. S. 40.

2 Anfangsgründe d. Physik. 3te Aufl. Wien 1827. S. 638.

3 A. a. O. Eine spätere Schrift desselben Verf., nämlich: Die artesischen Brunnen in und um Wien. Vom Freiherrn v. Jacquin. Nebst geognostischen Bemerkungen über dieselben von P. Partsch. Wien, 1831. kenne ich nicht genauer.

aufsteigt, jedoch zeigt er zugleich an einigen belehrenden Beispielen, dafs auch diese Methode, wegen ihrer Mangelhaftigkeit, der neuesten, in eingesenkten Röhren zu bohren, weit nachsteht und mitunter das Unternehmen gänzlich vereitelt, wie namentlich der Fall war, als die Thonschicht in 336 F. Tiefe noch nicht endete, durch das Seihwasser aber der Thon und das zwischenliegende Sandlager zu grofsen Höhlen ausgewaschen wurde und die hierdurch gebildete kothige Masse das Bohrloch stets wieder ausfüllte. Ist dagegen das Thonlager nicht so beträchtlich tief und hat man die ebengenannten Schwierigkeiten nicht zu befürchten, so ist jenes einfachere, durch Camilla[1] deutlich und vollständig beschriebene Verfahren genügend, um mit geringern Kosten springende artesische Brunnen zu erhalten. Gegenwärtig ist man indefs auch dort mit den Erfahrungen der Ausländer und den von ihnen vorgeschlagnen vielfachen Verbesserungen hinlänglich bekannt, um das für die jedesmaligen Fälle am besten geeignete Verfahren zur Anlegung der so höchst nützlichen artesischen Brunnen in Anwendung zu bringen[2].

In den verschiednen Ländern sowohl des südlichen als auch des nördlichen Deutschlands hat man die aus Frankreich erhaltnen Mittheilungen über die artesischen Brunnen mit grofser Begierde aufgefafst und in sehr vielen Fällen, zuweilen mit glänzendem Erfolge, in Anwendung gebracht. Es wurden nicht blofs vielfältige Bohrversuche unternommen, sondern auch bis zu sehr beträchtlichen Tiefen fortgesetzt; daneben blieb man nicht bei der blofsen Anwendung der mitgetheilten Verfahrungsart des Bohrens und der hierzu erforderlichen Werkzeuge stehn, sondern man änderte diese vielfältig ab und gelangte hierdurch um so mehr zu Verbesserungen, je gebildeter und geübter diejenigen waren, die sich mit diesem Gegenstande beschäftigten. Das Einzelne hierüber ergiebt sich vollständiger aus der bereits sehr reichhaltigen vor-

1 Wiener Zeitschrift. Bd. IX. S. 475.

2 Ueber die Anwendung des Bergbohrers zur Aufsuchung von Brunnenquellen u. s. w. F. Garnier's gekrönte Preisschrift mit Zusätzen von J. Waldauf v. Waldenstein. Wien 1824. Desselben: die neuesten Beobachtungen und Erfahrungen von Garnier, Hericart de Thury, Baillet, Omalius, Flachat, Beurrier, v. Bruckmann u. a. über die Anlage artesischer Brunnen u. s. w. Wien 1831.

handenen Literatur, wobei nur noch zu bemerken ist, dafs insbesondere Boner in Münster, Spetzler in Lüneburg, Gugler in Nürnberg und vor allen andern v. Bruckmann in Heilbronn sich als Praktiker durch Anlegung von Bohrbrunnen ein bedeutendes Verdienst erworben haben[1].

Es ist merkwürdig, dafs man in minder cultivirten Welttheilen, als Europa, die artesischen oder Bohrbrunnen bereits seit so langer Zeit gekannt hat. So erfahren wir durch Shaw[2], dafs die Ortschaften von Wad-Reag in der Nähe von Algier, fern von Bergen und in einer ausgedehnten Ebene liegend, sich auf folgende eigenthümliche Weise Wasser verschaffen. Sie graben Brunnen von 100 bis 200 Klafter Tiefe, schaffen den Sand und die Kieselsteine, welche mehrere Lager bilden, auf die Seite und graben so tief, bis sie auf eine schieferige Lage kommen, unter welcher sich der Erfahrung nach Wasser befindet. Sie zerschlagen dann dieses nicht sehr feste Gestein, worauf das Wasser sofort mit solcher Heftigkeit hervorbricht, dafs die Arbeiter sich schnell entfernen müssen, wenn sie die drohende Lebensgefahr vermeiden wollen. Die berühmtesten und merkwürdigsten Bohrbrunnen giebt es aber in China, wo sie durch den Missionär Imbert beobachtet und wiewohl ohne Sachkenntnifs, dennoch ziemlich vollständig beschrieben wurden[3]. Sie heifsen auch Feuerbrunnen, weil

---

1 Vollständiger Unterricht über die Anlage der Bohr- oder artesischen Brunnen u. s. w. von L. Boner. Münster 1830. 78 S. 8. Zweite Aufl. ebend. 1831.— Einige Worte über artesische Brunnen und deren Erbohrung u. s. w. Von K. W. Schimming. Halle 1831. — Die artesischen Brunnen, ihre Beschaffenheit u. s. w. Von J. H. M. Poppe. Tübing. 1831.— Die artesischen Brunnen. Ein Versuch von J. A. Blume. Dresd. 1831. — Anleitung zur Anlage artesischer Brunnen. Von J. A. Spetzler. Lübeck 1832. — Gründliche Anweisung des sichersten, einfachsten und wohlfeilsten Verfahrens beim Bohren von artesischen Brunnen. In Verbindung mit J. A. Gugler bearbeitet von J. Gambihler. Nürnb. 1832. — Vollständige Anleitung zur Anlage, Fertigung und neueren Nutzanwendung der gebohrten oder sogenannten artesischen Brunnen. Von J. A. v. Bruckmann und A. G. Bruckmann. Heilbronn 1833.

2 De la Metherie Theorie d. Erde. Th. II. S. 264.

3 Annales de l'Association de la propagation de la foi cet. Lyon 1829. Janv. Daraus entlehnt durch Hericart de Thury und übers. durch Bruckmann a. a. O. S. 320. Auch in v. Humboldt's Fragmenten

aus ihnen eine Menge Schwefelwasserstoffgas aufsteigt und zum Heizen der Salzpfannen benutzt wird. Es liegen nämlich im Kreise von Kia-ting-fu (unter 101°,5 östl. L. von Paris und 29°,5 N. B.) auf einer Strecke von etwa 10 franz. Meilen Länge und 5 Meilen Breite über 20000 solche gebohrte Salzbrunnen. Die begüterten Einwohner vereinigen sich und bohren sie mit einem Aufwande von 7 bis 8000 Francs. Sie haben gewöhnlich eine Tiefe von 1500 bis 1800 F. und eine Weite von nur 5 bis 6 Zoll, liegen aber insgesammt in Felsen. Zuerst wird in die 3 bis 4 Fufs hohe Erdschicht eine hölzerne Röhre gesenkt und mit einem Steine bedeckt, welcher eine entsprechende Oeffnung von 5 bis 6 Z. hat. Alsdann läfst man einen 300 bis 400 ℔ schweren Felsbohrer, welcher kronenartig krenellirt, oben etwas ausgehöhlt und unten abgerundet ist, darin spielen; dieses geschieht dadurch, dafs ein leicht gekleideter Mann einen Hebel, woran der Bohrer hängt, niedertritt, und letzteren dann 2 Fufs tief herabfallen läfst. Läuft kein Wasser von aufsen ein, so giefst man von Zeit zu Zeit einen Eimer Wasser in das Loch, um die zermalmte Masse in einen Brei zu verwandeln. Der Felsbohrer selbst hängt an einem Rohrseile, welches zwar nur fingerdick, aber so stark ist, als unsere Darmsaiten; am Arme des Schaukelhebels, woran es geknüpft wird, befindet sich noch ein hölzernes Dreieck, welches bei jedem Hube des Bohrers von einem zweiten Arbeiter um eine halbe Wendung umgedreht wird, damit der Bohrer jedesmal anders auffalle. Vier Paare Arbeiter lösen sich am Morgen, Mittag, Abend und Mitternacht ab, und wenn man drei Zoll tief gebohrt hat, zieht man den Bohrer sammt der zermalmten Masse heraus, indem das Seil auf eine Walze gewickelt wird. In seltnen Fällen finden sich kleine Schichten von Erde oder Kohlen, und dann wird die Arbeit höchst schwierig, weil der Bohrer bei ungleichem Widerstande nicht senkrecht geht; zuweilen bricht auch der eiserne Ring des Bohrers und dann bedarf es 5 bis 6 Monate Zeit, um den alten Bohrer mit neuen Widderköpfen zu zermalmen[1]. Unter günstigen Umständen werden zwei

---

einer Geologie und Klimatologie Asiens. Uebers. von J. Löwenberg. S. 89.

1 v. Bruckmann a. a. O. S. 323. bezweifelt die Möglichkeit die-

Fuſs in 24 Stunden gebohrt, die ganze Arbeit erfordert aber wenigstens 3 Jahre. Das Salzwasser hebt man mit einem Bambusrohre, welches unten ein Ventil hat, sich durch Auf- und Niederstoſsen füllt und mittelst einer Walze durch Ochsen aufgezogen wird, aus der gebohrten Röhre.

III. Reichthum derselben.

Aus der Theorie vom Ursprunge der Quellen ergiebt sich, daſs sie eine ungleiche Menge von Wasser liefern müssen. Die sogenannten Seihquellen, in denen sich das auf ebene Felder und unbewaldete Gegenden fallende, nicht wieder verdunstende, sondern durch eine undurchdringliche Erdschicht zurückgehaltene, hydrometeorische Wasser sammelt, sind der Natur der Sache nach die ärmsten, und die durch sie gespeisten Brunnen werden daher durch fortgesetztes Schöpfen bald leer und versiegen bei anhaltender Dürre leicht gänzlich. Sind die örtlichen Verhältnisse zur Erzeugung der Quellen günstig, d. h. wenn die umgebenden Hügel und Berge belaubt sind oder so hoch, daſs sie durch ihre Kälte den Wasserdampf der atmosphärischen Luft in beträchtlicher Menge anziehn uud das aufgenommene Wasser leicht durch eine lockere, auf einer undurchdringlichen Unterlage ruhende Erdschicht niedersinken lassen, so ergiebt eine einfache Berechnung leicht die groſse Menge des auf diese Weise vereinten Wassers. Ist nämlich in einem solchen Falle nur eine Kreisfläche von beiläufig 500 Fuſs Halbmesser gegeben, so beträgt ihr Flächeninhalt fast 785400 Quadratfuſs und liefert also, die jährliche Regenhöhe nur zu 18 Zoll angenommen, in einem Jahre fast 1178100 Kubikfuſs Wasser, also täglich 3227 Kub. Fuſs, stündlich 134,48 Kub. F. oder, die Pinte (welche etwas mehr als 1 Liter beträgt) hoch zu 48 Kub. Z. angenommen, nicht weniger als 4841 Pinten. Aus einer ähnlichen Berechnung ergiebt

ses Zermalmens. Allein wenn man bedenkt, daſs der Widderkopf oder Bohrer am obern Ende hohl und vermuthlich nur unten gehärtet ist, dann die lange Zeit berücksichtigt, welche zu dem Zermalmen verwandt wird, so scheint mir der Einwurf ungegründet. Jede Methode des Herausziehns des alten Bohrers würde so lange Zeit nicht erfordern; gäbe man aber nach einem solchen Unfalle das Bohren ganz auf, so hätte Imbert dieses in Erfahrung gebracht.

sich die Menge des Wassers, auf welche man rechnen darf, wenn das hydrometeorische Wasser auf den Dächern aufgefangen und zum ökonomischen Gebrauche in Cisternen aufbewahrt wird. Die so berechnete Wassermenge kann aber selbst dann nicht gegeben werden, wenn bloſs Schnee herabfiele und allmälig aufgethaut würde, indem während der hierzu erforderlichen Zeit ein bedeutender Theil desselben verdunstet; inzwischen ergiebt sich aus dieser Uebersicht so viel, daſs unter günstigen Umständen durch ausgedehnte, von Thälern durchschnittene Bergketten eine so enorme Menge Quellwasser erzeugt werden kann, als durch die mächtigen Ströme dem Meere zuflieſst, im Kleinen aber kann der Reichthum mancher perennirenden natürlichen oder künstlich erbohrten Quellen hiernach nicht mehr auffallend erscheinen.

Im Allgemeinen kennt man den Reichthum der Quellen nicht, konnte auch nicht veranlaſst seyn, denselben aufzusuchen, da er in zahllosen Abwechselungen von wenigen Kubikzollen in 24 Stunden bis zu vielen Tausenden von Kubikfuſs verschieden ist, von der mühsamen Aufsuchung dieser Gröſsen aber endlich kaum irgend ein Nutzen zu erwarten steht. Nur von wenigen Quellen hat man daher beiläufig die Menge des Wassers aufgesucht, die sie liefern, und ich theile von diesen, ohnehin ziemlich unsichern, Bestimmungen hier nur einige als Probe mit. Der Hexenbrunnen auf dem Brocken giebt täglich 1440 Kub. F., die sämmtlichen Quellen zu Carlsbad 192726 Kub. F.[1], die zu Baden-Baden 14125 Kub. F.[2], der Sauerbrunnen zu Selters 834 Kub. F.[3], die vier Quellen zu Nendorf, nämlich die Trinkquelle und die drei Badequellen, zusammen 10173 Kub. F.[4], der söderköping'sche Sauerbrunnen 6927 Kub. F. und die Mühlenquelle bei Upsala 15008 Kub. F.

Eine merkwürdige Ergiebigkeit zeigen namentlich nicht selten die artesischen Brunnen, die man in dieser Hinsicht sorgfältiger beachtet hat. Unter den 41 durch v. JACQUIN[5]

---

1. G. LXXIV. 198.
2. KLÜBER über Baden. Th. I. S. 50.
3. J. F. WESTRUMB Beschreibung von Selters. S. 14.
4. F. WURZER physikalisch-chem. Beschr. d. Schwefelquellen zu Nendorf. S. 82 ff.
5. Wiener Zeitschrift. Bd. VIII. S. 270.

untersuchten Bohrbrunnen liefert einer 1080, ein anderer 1661 und der stärkste 1728 wiener Eimer in 24 Stunden, alle zusammen aber mehr als 9000 Eimer oder ungefähr 12204 Kub. Fufs. Merkwürdig ist in dieser Beziehung, dafs man das Wasser artesischer Brunnen an verschiednen Orten zum Betriebe der Mühlräder benutzt, in welcher Beziehung es noch aufserdem den grofsen Vortheil gewährt, dafs es bei stets gleichbleibender Temperatur im Winter selbst nicht nur nicht gefriert, sondern auch dem sonstigen Betriebswasser beigemischt die Räder gegen das Einfrieren schützt, weil es nicht weit von den Bohrlöchern auf dieselben fällt, also in der kurzen Zeit seines Fliefsens an freier Luft nicht sehr erkalten kann. Namentlich findet diese Benutzung bei Königsborn unweit Unna statt, wo die Salinenwerke grofsentheils durch Bohrbrunnenwasser betrieben werden, und im Dorfe Hemmerde, wo mehrere Bohrlöcher zwei Mahlmühlen treiben, deren jede 3 Kub. F. Wasser in der Secunde verbraucht[1].

IV. Periodisches Laufen der Quellen.

In einigen Gegenden des nördlichen Deutschlands giebt es eine Art periodischer Quellen, die man *Maibrunnen*, auch *Hungerquellen* nennt. Sie finden sich auf Wiesen und Feldern, brechen meistens im Monate Mai hervor, sind mehr oder minder ergiebig, so dafs sie entweder den nächsten Niederungen zufliefsen, oder blofs eine Ansammlung von stagnirendem Wasser erzeugen, und dauern längere oder kürzere Zeit bis zum Anfange des Monats Juni oder bis über die Mitte des Monats Juli. Aus ihrer Reichhaltigkeit und längern Dauer schliefsen die Landleute auf bevorstehenden Mifswachs, woher auch der Name Hungerquellen seinen Ursprung hat, wogegen ihr gänzliches Ausbleiben als Vorbedeutung einer reichen Ernte gilt. Da sie sich vorzugsweise in Niederungen und nassen Gegenden finden, so entstehn sie vermuthlich dann, wenn der Erdboden eine Menge Feuchtigkeit im Winter bereits aufgenommen hat, damit getränkt ist und also das Schnee-

---

1 Untersuchungen über den Effect einiger in Rheinland-Westphalen bestehenden Wasserwerke. Von P. N. C. Egen. Berlin 1831. S. 154.

wasser der nächsten Erhöhungen nicht mehr einsaugen kann, so dafs dieses über der Erdoberfläche zum Vorschein kommt; der Boden bleibt daher wegen mangelnder Wärme und Verdunstung zu kalt, die Gewächse gedeihen nicht und es entsteht Mifswachs.

Sehr viele Quellen liefern allezeit eine gleiche Menge Wasser. Am meisten ist dieses der Fall bei solchen, die aus Gletschern entspringen, weil der wärmere Boden ununterbrochen eine gleiche Menge Eis und Schnee aufthaut; die heifsen, aus Urgebirgen hervorbrechenden, desgleichen die meisten Mineralquellen, und auch solche, die ausgedehnten Bergketten ihren Ursprung verdanken, haben gleichfalls diese Eigenschaft, weil sie aus grofsen Ansammlungen entspringen, bei denen die ungleiche Menge des zufliefsenden hydrometeorischen Wassers durch anderweitige Nebenbedingungen wieder ausgeglichen wird, insbesondere wenn die Ansammlungen aus den verschiedenen Jahreszeiten durch längeres Verweilen in der Erde vereinigt werden und hierdurch die constante Temperatur der Quellen bedingt wird. Andere Quellen dagegen zeigen einen kenntlichen Wechsel ihres Reichthums, wovon die Ursachen sich meistens aus örtlichen Verhältnissen leicht auffinden lassen. Manche, die aus geringen Höhen ihr Wasser erhalten, wechseln mit der Nässe und Trockenheit der Witterung und versiegen bei anhaltender Dürre gänzlich, was sich eben so bei den unterirdischen Wässern der Brunnen, als bei den zu Tage ausgehenden ereignet. Andere dagegen befolgen einen entgegengesetzten Wechsel und sind in der wärmern Jahreszeit am reichsten, weil sie ihr Wasser von schmelzendem Schnee und Eis erhalten. W. Bland[1] will nach einer anhaltenden Reihe von Beobachtungen gefunden haben, dafs die Wasserhöhe in gegrabenen Brunnen wechselt, indem sie im Wintersolstitium bis zum Minimum abnehmen, bald darauf wachsen und im Sommersolstitium ihr Maximum erreichen sollen; allein dieses kann nur durch Oertlichkeiten bedingt seyn und nicht als allgemeine Regel gelten. Ein hiervon abweichendes Resultat geht dagegen aus den mehrjährigen Messungen hervor, welche Henwood[2] bei den Dampfmaschi-

1 Phil. Mag. and Ann. of Phil. N. S. T. XI. N. 61. p. 58. N. 62. p. 88.
2 Phil. Mag. and Ann. T. IX. p. 170.

nen der Bergwerke in Cornwallis angestellt hat, wonach mit einigen Schwankungen die Wassermenge vom December an zunimmt, im März oder April ihr Maximum erreicht und im October oder November auf ihr Minimum wieder zurückkommt. Spätere, sieben Jahre hindurch fortgesetzte Beobachtungen von ebendemselben[1] ergeben, dafs jene Maxima und Minima nicht bei allen Quellen gleich sind, sondern von den Zeiten der reichlichsten oder spärlichsten Regen, bedingt durch die Tiefe der Quellen, abhängen. So erreichte von drei Quellen im Mittel die eine im Januar ihr Maximum und im September ihr Minimum, zwei andere aber ersteres im März, letzteres im December und November. Im Allgemeinen haben die Regenmengen zwar einen Einflufs auf den Reichthum der Quellen, aber beide sind einander nicht direct proportional, auch folgen beide nicht jederzeit und bei allen Minen in gleichen Zeiträumen auf einander. Eben so sind im Ganzen die tiefsten Quellen die reichhaltigsten, sobald ihre Tiefe 70 bis 120 Faden nicht übersteigt, wächst diese aber bis 130 oder gar 180 Faden, dann nehmen sie mit der Tiefe wieder ab.

In vielen Brunnen, deren Entfernung von benachbarten Flüssen nicht grofs ist, erhält sich der Wasserstand stets in gleichem Niveau mit den letztern. Eben dieses ist der Fall bei solchen in der Nähe des Meers, wobei noch der Umstand schon den Alten auffallend war, dafs sie süfses Wasser haben. Allerdings giebt es sehr nahe am Ufer auch Salzbrunnen, deren Wasser aus dem Meere durch den Sand herbeifliefst, aber dieses ist nichts Aufserordentliches und Bemerkenswerthes, wohl aber das süfse Wasser der Brunnen in geringer Entfernung vom Seewasser. Der letztere Umstand zeigt aber deutlich, warum diese und die nahe bei Flüssen oder Landseen befindlichen mit jenen gröfsern Wassermassen ein gleiches Niveau behalten, nämlich nicht deswegen, weil sie aus ihnen gespeist werden, sondern weil sie ihren Ueberflufs an dieselben abgeben, welcher jedoch nicht weiter, als bis zur Herstellung des gleichen Niveau's abfliefsen kann. Die auffallende Erscheinung des süfsen Wassers in grofser Nähe beim Meere entging den Alten nicht, vielmehr erzählt Hir-

---

2 London and Edinburgh Phil. Mag. and Journ. of Sc. N. IV. p. 237.

TIUS[1], dafs CÄSAR bei der Belagerung von Alexandrien Brunnen am Ufer graben liefs und süfses Wasser fand; nach LULOFS[2] aber gaben sogar Brunnen auf den Dünen bei Wassenaer süfses Wasser, was ungleich merkwürdiger ist, als das leicht erklärbare Phänomen der süfsen Quellen, die in der See münden. Nach LABAT[3] findet man in allen sandigen Baien süfses Wasser, dessen Ursprung vom Regen abzuleiten sey, weil beim tiefern Graben das salzige Seewasser zum Vorschein komme.

Die bereits angegebene Ursache erklärt zugleich die Eigenthümlichkeit einiger Brunnen in der Nähe des Meers, dafs sie die Ebbe und Fluth zeigen, wie zuweilen ohne genauere Prüfung unrichtig, mitunter aber der Wahrheit gemäfs, berichtet wird. Nach PLINIUS[4] zeigt sich dieses bei einigen Quellen in der Gegend von Cadix und an andern Orten in Spanien; VARENIUS[5] erwähnt solche Beispiele von Wallis und Island, DODART[6] aus der Gegend von Calais und NORWOOD[7] von den bermudischen Inseln. Wenn aber ASTRUC[8] von einer Quelle unweit Cracau behauptet, sie sey beim Vollmonde allezeit stärker als beim Neumonde, so gründet sich dieses und ähnliches auf unbewährte Erzählungen. Sicherer scheint eine ältere Beobachtung zu seyn, dafs eine Quelle zwischen Brest und Landenau bei der Ebbe des benachbarten Meers steigt und bei der Fluth fällt, welches man aus der Langsamkeit erklärt, womit das Wasser durch die unterirdischen Canäle zuströmt und abfliefst.

Viele Aufmerksamkeit haben von jeher die *intermittirenden* Quellen erregt, die in regelmäfsigen oder unregelmäfsigen Perioden bedeutende Unterschiede ihrer Ergiebigkeit zeigen oder ganz aussetzen. Wenn man die bereits erwähnten und

---

1 De bello Alexandrino. c. 8.

2 Einleitung zur math. u. phys. Kenntnifs der Erdkugel. Ueb. von Kästner. Leipz. 1755. 4. S. 295.

3 Voyage aux Isles franç. de l'Amérique. T. V. p. 307.

4 Hist. Nat. L. II. c. 97 u. 103.

5 Geogr. gen. Cap. 17. prop. 17.

6 Du HAMEL Hist. Acad. Reg. Sect. II. c. 3. §. 3.

7 Phil. Trans. N. 30. p. 656.

8 Hist. natur. de Languedoc.

erklärten Maibrunnen ausschliefst, so giebt es vermuthlich nur drei Ursachen, welche diesen periodischen Wechsel herbeiführen, und bei einigen Quellen herrscht gar kein Zweifel darüber, welche von diesen Ursachen bei ihnen wirksam ist, bei andern wird die Entscheidung blofs dadurch schwierig, dafs man die auf sie einwirkenden örtlichen Bedingungen nicht hinlänglich kennt. Diese Ursachen sind erstlich Ansammlungen von Luft oder Gasarten in den Canälen der Quellen, zweitens der ungleiche Druck der Luft in unterirdischen Höhlen auf das in ihnen zugleich eingeschlossene Wasser, und drittens heberförmige Canäle, welche das periodische Fliefsen mancher Quellen auf gleiche Weise bedingen, als dieses beim sogenannten künstlichen Tantalus oder dem Vexirbecher geschieht.

Wenn das Quellwasser in Röhren fortgeleitet wird, so entwickelt sich aus demselben eine nicht unbedeutende Menge Luft, welche man daher durch eigene Vorrichtungen bei den gröfsern Wasserleitungen fortzuschaffen sucht, um den regelmäfsigen Ausflufs nicht zu stören; bei kleinern Röhrenleitungen ist die Sache zu unbedeutend, als dafs man bei ihrer Anlage hierauf Rücksicht nehmen sollte, daher man bei dieser fast ohne Ausnahme eine Art periodischer Unterbrechung wahrnehmen kann. Die ausgeschiedenen Luftblasen werden nämlich mit dem Wasser zugleich fortgeführt, und kommen sie dann in die meistens engere Ausgufsröhre, so füllen sie diese gröfstentheils oder ganz aus, so dafs ein momentaner geringerer oder auch ganz unterbrochener Ausflufs statt findet. Am auffallendsten zeigt sich dieses in denjenigen Fällen, wenn die Luftentwickelung so stark ist, dafs der Wassercylinder ganz getrennt wird und die ohnehin durch den hydrostatischen Druck comprimirte Luft vor ihrem eigenen Ausströmen eine Vermehrung des Ausflusses, nachher aber einen gänzlichen Stillstand hervorbringt. Eben diese Ursache bewirkt zuweilen auch einen gewissen periodischen Wechsel bei den artesischen Brunnen; sind diese aber beträchtlich tief, so wird nicht blofs atmosphärische Luft frei, sondern es entwickeln sich mitunter solche Mengen anderer Gasarten, dafs dadurch eine weit beträchtlichere Periodicität zum Vorschein kommt. Gas- und Wasserquellen sind ohnehin oft mit einander verbunden, wie später gezeigt werden soll, man hat

aber auch namentlich beim Bohren der Brunnen oft beträchtliche Gasentwickelungen wahrgenommen [1].

Es ist ein gewisser Bau und Zusammenhang der Höhlungen im Innern der Erde denkbar, wobei die Entwickelung der Luft- und Gasarten noch ungleich merklichere Wechsel erzeugen muſs. Zu diesem Ende werde angenommen, daſs sich im festen Gesteine die Höhlung A befinde, welche aus dem Raume B ihren Wasserzufluſs erhält. Die verhältniſsmäſsige und, absolute Gröſse beider Räume mag verschieden seyn, auch macht die Weite und Biegung des Canals α keinen Unterschied, selbst wenn derselbe, wie die punctirte Linie andeutet, unter das im Raume A angesammelte Wasser herabgeht und statt von oben herabwärts gebogen zu seyn, eine entgegengesetzte Richtung von unten nach oben hat. Die im Raume B oder überhaupt in den herbeiflieſsenden Wasseradern, auch die sonstig im Berge entwickelte Luft sammelt sich im Raume A, nimmt an Spannung stets zu, drückt auf das am Boden angesammelte Wasser und treibt dieses im Canale oder dem Bohrloche a b c in die Höhe, bis ihre Menge so groſs ist, daſs ihr Druck den Zufluſs hindert, die Oeffnung a frei wird und statt Wasser Luft in dem Canale a b c aufsteigt. Ist letzterer weit, so entweicht neben der zurückfallenden Wassersäule die Luft, der Zufluſs des Wassers aus α beginnt abermals, die Mündung a bleibt eine Zeit lang verschlossen, und die Luft erhält allmälig wieder Spannkraft genug, um das Wasser im Canale emporzuheben. Es ist hierbei selbst nicht einmal nöthig, daſs der Zufluſs aus α unterbrochen werde, aber man übersieht bald, wie leicht durch die angegebenen Bedingungen eine wechselnde Höhe des Wassers in den Röhren artesischer Brunnen und ein periodischer Wechsel des Flieſsens der Quellen überhaupt herbeigeführt werde [2]. Sind die hierbei nach Wahrscheinlichkeitsgründen angenommenen Räume bedeutend groſs, luftdicht und mit Luft angefüllt, deren Menge durch fortgehende Entbindung nicht vermehrt wird, deren Volumen jedoch durch Wärme eine Zunahme erhält, so wird deren ungleiche Spannung ähnliche Erscheinungen, als die beschriebenen, hervorbringen.

Fig. 182.

---

1 S. Bruckmann a. a. O. S. 225.

2 Eine dieser ähnliche, aber minder bestimmte Erklärung giebt Dutrochet in Ann. Ch. et Phys. XXXIX. 230.

Es giebt indeſs Quellen, die während so langer Zwischenräume intermittiren, daſs man diese Erscheinung nicht füglich aus der angegebenen Ursache ableiten kann und daher annimmt, es befänden sich heberförmige Canäle im Innern der Erde, durch welche eine Unterbrechung des Flieſsens auf gleiche Weise, als beim *künstlichen Tantalus* oder dem *Vexirbecher*, hervorgebracht werde[1]. Um dieses zu versinnlichen, sey A ein Raum, in welchem das Quellwasser sich sammelt, und von solcher Gröſse, daſs selbst ein mehrere Monate anhaltender Zufluſs ihn gänzlich zu füllen nicht vermöge. Wenn man nun annimmt, daſs alles Wasser durch den heberförmigen Canal abc abgeflossen ist, so wird der Ablauf aufhören und nicht eher wieder beginnen, als bis der hohle Raum und zugleich der heberförmige Canal abc bis zu seinem höchsten Puncte b angefüllt ist, woraus der Abfluſs wieder anfängt und bis zur gänzlichen Entleerung der Höhle dauert[2].

Fig. 183.

Entweder die eine oder die andere dieser Hypothesen kann zur Erklärung der verschiedenen Phänomene der intermittirenden Quellen dienen, deren einige schon seit langer Zeit bekannt sind. Der ältere und jüngere Plinius[3] erwähnen eine Quelle beim Comer-See (*Lacus Larius*), die dreimal des Tags ab- und zunimmt, und vermuthlich ist diese die nämliche, deren Scheuchzer[4] gedenkt, die fünf Meilen von diesem See entfernt liegt. Als periodische Quellen werden ferner genannt die zu Torbay in Devonshire[5] und zu Buxton in Derbyshire[6]. Unter die bekanntesten gehört der *Bullerborn* bei Altenbekum im Paderborn'schen, dessen sonderbare Eigenschaft schon 1665 bewundert wurde. Im Sommer hat er in der Regel sechsstündige Perioden und flieſst zuweilen gar nicht, im Frühling, Herbst und Winter dagegen alle 4 Stunden 15 Min. mit starkem Getöse so reichlich, daſs einige

---

1 Vergl. *Heber*. Bd. V. S. 130.

2 Ueber diese Hypothesen vergl. Musschenbroek Introd. T. II. §. 2379. Desaguliers Exper. Phil. T. II. p. 173. Nicholson's Phil. Journ. XXXV. p. 178. Ferguson lectures on select subjects cet. Lond. 1790. Suppl. p. 20.

3 Hist. nat. L. II. c. 103. L. XXXI. c. 2. Epist. L. IV. ep. 30.

4 Hydrogr. Helvet. p. 126.

5 Phil. Trans. Nr. 202 u. 204.

6 Childrey Curiositates Britannicae.

Mühlen davon ihr Betriebwasser erhalten können [1]. Eine Quelle bei Fonteston oder Fontestorbe in Mirepoix fliefst nach Astruc [2] und de la Hire in den drei Sommermonaten abwechselnd etwa 36 Minuten und setzt dann 32 Min. wieder aus; bei eintretender nasser Witterung fliefst sie auch gleichförmig und ein Regen von mehrern Tagen oder von gröfserer Stärke macht sie leicht 12 Tage lang anhaltend fliefsen, worauf sie dann zur gewöhnlichen Periodicität wieder übergeht. Als im Jahre 1692 der Schnee zwei Monate lang gefroren blieb, lief sie intermittirend auch in den Monaten November, December und Januar. Eine Quelle bei Fonsanche unweit Nimes fliefst 7 Stunden und bleibt 5 Stunden aus, verzögert aber binnen 24 Stunden um 50 bis 53 Minuten und läuft bei regnerischem Wetter beständig; eine andere zu Bouledon [3] am linken Ufer des Gardon fliefst unterbrochen in sehr kurzen, aber unregelmäfsigen Intervallen. Eine Quelle bei Colmar und Senez in der Provence setzt 7 Minuten lang aus, wurde beim Erdbeben zu Lissabon 1755 perennirend und erst 1763 wieder intermittirend [4]. Aehnlich sind: die Quelle beim See Bourguet in Savoyen, die in 24 Stunden zweimal aussetzt, eine in Poitou, die von Droguet und Castres in Languedoc u. a. In Perigueux, Depart. der Dordogne, ist eine Quelle, welche jeden Morgen um 9 Uhr austritt und die Umgegend unter Wasser setzt, nach 2 Stunden aber zu fliefsen aufhört [5]. Eine Quelle bei Kuhla unweit Eisenach fliefst vom Frühlingsäquinoctium bis zum Herbst reichlich, im Winter aber zieht sie Wasser aus einem benachbarten Bache ein, weswegen die Müller dieselbe dann verstopfen, damit sie ihnen das Wasser nicht entzieht. Aus einer Quelle am Pilatusberge und einer andern bei Burgenburg bricht das Wasser täglich einigemal hervor; bei Remus in Graubündten ist eine solche, die alle Mittage zu fliefsen anfängt und Morgens 9 Uhr wieder aufhört, und bei Aelen in Bern, welche nach Plantinus [6] alle

1 Phil. Trans. I. p. 127. u. 133. Abridg. T. II. p. 30.
2 Histoire de Languedoc. P. II. ch. 1.
3 Journ. de Phys. 1785. II. 295.
4 Astruc a. a. O. p. 288. 293. 404.
5 Rigel Beschreib. des siebenjähr. Kampfes auf d. pyren. Halbinsel. Rastadt 1819. T. I. p. 35.
6 Helvetia ant. et nov. p. 72.

7 Jahre nur einige Wochen hindurch fliefst. VARENIUS[1] erzählt von einer heifsen Quelle in Japan, die täglich zweimal nur eine Stunde lang, und von einer andern bei Cachemir, welche beim Schmelzen des Schnees im Mai nur Morgens, Mittags und Abends Wasser giebt. Die *fontaine ronde* unweit Pontarlier intermittirt in Perioden von 6 Minuten, welches DUTROCHET von entwickelter Kohlensäure ableitet, die den Canal erfüllt, auch ist eine andere im Jura, welche alle 7 Minuten intermittirt[2]. Ueberhaupt ist die Schweiz aus leicht begreiflichen Gründen vorzüglich reich an Erscheinungen dieser Art. So sieht man bei Watlis in Graubündten aus einem Felsen zwei Quellen, ungefähr 25 Schritte von einander entfernt, hervorbrechen, welche vom Anfange Aprils an bis zum Herbst reichlich fliefsen[3], eine ähnliche in Unterwalden bei Gravenort dauerte im Jahre 1700 bis zum Monate October[4]; der nahe dabei befindliche Dürrbrunnen ist von gleicher Beschaffenheit, und der sogenannte verlorne Brunnen dringt am Vorgebirge des Rözliberg-Gletschers aus einer weiten Höhle vom Frühlinge bis zum Herbste wie ein kleiner Bach hervor[5].

Vorzüglich merkwürdig ist der Engstlerbrunnen im Bern'schen, welcher doppelte Perioden hält, zuerst eine jährliche von Mitte Mai bis in die Hälfte des August, dann eine tägliche, von 4 Uhr Nachmittag bis 8 Uhr Morgens; jedoch sind beide Perioden nicht absolut regelmäfsig, indem er vielmehr zuweilen täglich längere oder kürzere Zeit selbst ohne Unterbrechung fliefst oder ausbleibt und auch beim jährlichen Wechsel nicht ohne Ausnahme zu der nämlichen Zeit erscheint[6]. Von ähnlicher Beschaffenheit ist der Lugibach. Das Wasser des Bads zu Pfäfers in der Landschaft Sarganz kommt jährlich im Anfange des Mai zum Vorschein und verschwindet Mitte Septembers. Bei Putschlaf in Graubündten und an einigen

---

1 Geogr. gen. cap. 17. pr. 7.

2 Ann. Chim. et Phys. XXXIX. 230. 435. Daraus in Poggendorff Ann. XV. 533.

3 SCHEUCHZER Itiner. alpin. p. 483.

4 SCHEUCHZER Naturgesch.

5 GRUNER die Eisgebirge des Schweizerlandes. Bern 1766. 8. Th. I. S. 148.

6 SCHEUCHZER Itin. alp. T. I. p. 26. T. II. p. 405.

andern Orten dieser Landschaft giebt es Quellen, die der gewöhnlichen Regel zuwider bei trocknem Wetter fliefsen, bei regnerischem gänzlich versiegen[1]. In Terra di Lavoro rechts vom Rio di Sciavi befinden sich in einem Thale zwei Quellen, wovon die eine in unregelmäfsigen Intervallen fliefst und ausbleibt, jederzeit hat aber das zuerst kommende Wasser einen ekelhaften Geschmack nach Alaun, der sich in einigen Minuten verliert[2]. Als eine Merkwürdigkeit eigenthümlicher Art verdient noch bemerkt zu werden, dafs der Schlofsbrunnen in Carlsbad am 2. Sept. 1809 plötzlich versiegte, am 15. Oct. 1823 aber mit seiner frühern Stärke wieder zu fliefsen anfing.

V. Temperatur der Quellen.

Die Temperatur der Quellen wird zunächst durch zwei Ursachen bedingt, nämlich durch die der Hydrometeore, denen sie ihren Ursprung verdanken, und durch die der Erdkruste, in welcher sie entstehn und fortfliefsen. Man hat daher die Wärme der Quellen in den neuesten Zeiten mit vielem Fleifse und grofser Sorgfalt untersucht, um aus ihr die mittlere Temperatur der verschiednen Orte zu bestimmen, wie bereits im Allgemeinen erwähnt worden ist[3], später aber ein Gegenstand genauerer Untersuchung seyn mufs, wenn von der mittlern Temperatur der Erdoberfläche speciell gehandelt wird. Beschränken wir uns hier gleichfalls nur auf das Allgemeine, so ist klar, dafs die Temperatur der Quellen verschieden seyn mufs, je nachdem die eine oder die andere der angegebnen Ursachen einen gröfsern oder geringern Einflufs ausübt. Wenn wir hiervon ausgehn, so lassen sich füglich die veränderlichen von den gleichbleibenden unterscheiden.

Eine *veränderliche* Temperatur zeigen diejenigen Quellen, welche aus sehr geringen Tiefen hervorkommen, bis wohin der Einflufs der täglich und jährlich wechselnden Wärme

1 Wagener Hist. nat. Helvet.

2 Valisneri in v. Crell's neuem chem. Arch. T. I. p. 309. Ueber die intermittirenden Quellen überhaupt s. Otto System einer allgemeinen Hydrogr. S. 121.

3 S. *Erde* Bd. III. S. 989.

dringt; sie sind wärmer im Sommer und kälter im Winter und werden überhaupt sowohl in dieser Hinsicht, als auch in Beziehung auf ihre Ergiebigkeit durch die wechselnde Beschaffenheit der sie erzeugenden Hydrometeore bedingt. Eben wegen der hieraus erwachsenden Regellosigkeit hat man die Temperatur solcher flacher Quellen überall kaum beachtet, vielmehr geben die Physiker die Untersuchungen sofort auf, als sie den Mangel des Gleichbleibens entdecken, obgleich aus anhaltend fortgesetzten Beobachtungen der veränderlichen Quellen die mittlere Temperatur der Orte mit groſser Genauigkeit gefunden wird, wie bereits erinnert worden ist.

Die Quellen von *gleichbleibender* Temperatur haben die Aufmerksamkeit der Physiker vorzugsweise in Anspruch genommen. Sie lassen sich füglich abtheilen in kalte und warme, wenn man unter den erstern diejenigen versteht, deren Wärme der mittlern ihrer Orte nahe gleich ist, unter den letztern aber solche, die eine höhere Temperatur haben. Daſs die Temperatur der Quellen mit der mittlern der Orte sehr genau zusammenfällt, wird aus ihrem Ursprunge leicht erklärlich. Sie entstehn nämlich aus dem Wasser der Hydrometeore, welches so tief in die Erdkruste eindringt und vor seinem Austritte an die Oberfläche dort so lange verweilt, daſs theils durch Mischung des wärmern mit dem kältern eine mittlere Wärme erzeugt wird, theils die mittlere Temperatur der Erdkruste ausreicht, ihm diese mitzutheilen und bleibend zu erhalten. Indem aber die letztere durch den vieljährigen Einfluſs der die mittlere Temperatur der Orte bedingenden gemeinsamen Ursachen constant geworden ist, so läſst sich schon hieraus die Gleichheit beider erklären. Inzwischen ist auch diese nicht überall absolut vollständig, sondern es zeigen sich gröſsere oder geringere Abweichungen, welche jedoch nur bei einer Vergleichung beider im Art. *Temperatur* ausführlicher untersucht werden können; hier wird es dagegen genügen, bloſs die hauptsächlichsten Abweichungen von der allgemeinen Regel anzugeben.

Diejenigen Quellen, die man nicht wegen ihrer höhern Temperatur warme nennt, haben eine stets gleichbleibende Wärme, die der mittleren an ihrem Orte gleich ist. Man miſst dieselbe vermittelst des Thermometers, welches man in tiefe Brunnen hinabsenkt oder da in das Wasser hält, wo es

zu Tage hervorkommt. Hierbei ist erforderlich, dafs das Thermometer genau die Temperatur der Quelle erhalte und während des Ablesens seinen Stand nicht ändere, weswegen WAHLENBERG [1] die Kugel mit einer dreifachen Lage Tuch umwickelt und sie eine Stunde lang in die Quelle legt, KÄMTZ [2] dagegen dieselbe eine Viertelstunde lang im Wasser hin- und herführt, im Winter aber der Kürze halber aus zwei Beobachtungen das Mittel nimmt, wenn bei der einen die Temperatur des Thermometers etwa 2° über, bei der andern 2° unter die muthmafsliche Wärme der Quelle von der Beobachtung künstlich gebracht war. Untersucht man tiefe Brunnen, so kann eine Differenz dadurch entstehn, dafs in die offenen die kalte Luft im Winter herabsinkt, aber nicht die warme im Sommer, wie ERMAN [3] bei Potsdam beobachtete, oder dadurch, dafs die ungleich warmen Wasserschichten übereinander gelagert sind, worüber KÄMTZ [4] eine entscheidende Erfahrung beibringt. Wasser aus übrigens tiefen Brunnen heraufgepumpt ist für Messungen dieser Art nicht allezeit geeignet, denn ich habe aus einem solchen von etwa 40 F. Tiefe Unterschiede von 4° bis 10°,2 R. erhalten, ungeachtet ich vor der Messung erst ungefähr eine Minute anhaltend Wasser auspumpte, dagegen habe ich in sehr kalten Wintertagen selbst bei solchen reichlichen Quellen, die in den übrigens mit Eis bedeckten Neckar mündeten, stets fast ganz genau 8° R. gefunden, was von der hiesigen mittlern Temperatur sicher nicht bedeutend abweicht. Inzwischen gab ein 50 Fufs tiefer Brunnen in Altona im Monate August 1830 stets 7°,3 R., was von der dortigen mittlern Temperatur nicht merklich verschieden ist [5].

Es finden jedoch Abweichungen von dieser allgemeinen Regel statt, deren Ursachen nicht schwer aufzufinden sind, indefs bin ich geneigt anzunehmen, dafs diejenigen Quellen, deren Temperatur im Winter bis 2° C. niedriger ist als im Sommer, nicht zu den constanten gehören, weil sie nicht tief genug sind, folglich das Wasser der Hydrometeore zu schnell

1 G. XLI. 118.
2 Meteorologie. Th. II. S. 190.
3 Berliner Denkschr. 1818. S. 388.
4 Meteorologie. Th. II. S. 189.
5 SCHUMACHER astron. Nachrichten.

wieder abfliefst, da die eigentlich tiefen zuweilen im Winter eine etwas gröfsere Wärme zeigen, weil sie dann erst das im Sommer aufgenommene Wasser wiedergeben[1]. Hiernach würden also die bei Edinburg unter 55° 54′ N. B. beobachteten Quellen[2], bei denen das Maximum 9°,58 und 10°,87 im Juli, das Minimum aber 7°, 69 und 6°, 25 C. im Februar betrug, unter die veränderlichen gehören, dagegen die durch Wahlenberg[3] bei Upsala untersuchte Sandviks-Quelle unter die beständigen, weil sie nur zwischen 6°,6 und 6°,8 C. schwankte, auch war ihre Temperatur im Juni 6°,65, im Juli 6°,7, im December aber 6°,8 und im Januar 6°,7, so dafs die Winterwärme wohl einigen Ueberschufs haben könnte. Kämtz[4] leitet aus den Messungen der unveränderlichen Quellen die interessante Folgerung ab, dafs zwar nach Fourier's Untersuchungen die Temperatur eben so lange steigen als fallen müsse, dieses aber bei den gemessenen nicht der Fall sey, indem vielmehr die Zeit des Steigens sich zur Zeit des Sinkens bei den Edinburger wie 1 zu 1,53, bei den schwedischen aber wie 1 zu 1,57 verhalte, wovon er den Grund in dem schnellern Eindringen des wärmern Wassers findet. Aufserdem war die Temperatur bei den Edinburger Quellen 194 Tage über und 171 Tage unter dem Mittel, bei den schwedischen aber umgekehrt 163 Tage über und 202 Tage unter dem Mittel.

Es ist bereits oben[5] erwähnt worden, dafs die Temperatur der Quellen an einigen Orten höher, an andern niedriger als die mittlere ihrer Orte ist, und v. Humboldt[6] folgerte daher aus den bis dahin bekannten Erfahrungen, dafs zwischen 40° bis 45° N. B. und bis 3000 F. Höhe beide Temperaturen zusammenfallen, dafs aber unter niedern Breiten die Temperatur der Quellen geringer als die der Luft sey, in gröfsern Höhen dagegen und unter höhern Breiten vielmehr gröfser. Neuere Untersuchungen haben jedoch sehr auffallende Abweichungen von diesem Gesetze gezeigt. So erhielt die *Commission des*

---

1 John Davy in Edinb. Journ. of Sc. N. II. p. 255.
2 Hertha. Th. XIII. S. 20.
3 G. XLI. 116.
4 Meteorologie. Th. II. S. 193.
5 S. *Erde*. Bd. III. S. 990.
6 Mém. d'Arcueil. T. III. p. 599.

Arts im Josephsbrunnen der Citadelle von Cairo 22°,5, von der Ortstemperatur = 22°,2 kaum abweichend, L. v. Buch[1] unfern von Rom 11°,88 bei einer Ortstemperatur von 15°,5 und Bohr[2] in Bergen 8°,18, wo die mittlere Temperatur 5°,7 beträgt. Wahlenberg[3] findet den Grund hiervon in der schlechten Wärmeleitung der schützenden Schneedecke, L. v. Buch und Kämtz aber weit richtiger in dem Einflusse des Regens, wonach die Quellen wärmer seyn müssen bei vorherrschenden Sommerregen und umgekehrt kälter bei vorherrschenden Winterregen. Der Schnee kann allerdings zugleich einen Einfluſs ausüben, aber nur insofern, als er nicht sofort in die Erde dringt, zum groſsen Theile wieder verdunstet und beim Schmelzen das Wasser auf der Oberfläche schnell abläuft. Für die Richtigkeit dieser Erklärung entscheiden eine Menge von Thatsachen. Nach L. v. Buch[4] sind die Quellen auf den canarischen Inseln kälter, weil dort der Regen mehrere Monate fehlt, eben so zwischen den Wendekreisen, weil es beim Eintritte der periodischen Regen plötzlich bedeutend kalt wird. Ferrer fand die Temperatur einer 100 F. tiefen Quelle bei der Havanna 23°,5, die der Luft 25°,5; Smith im Innern von Congo auf 1360 F. Höhe die Quelle 22°,8, wo die mittlere Temperatur 25°,6 seyn muſs; wo es dagegen zwischen den Wendekreisen stets regnet, fallen beide zusammen, weswegen Smith auf den Capverdischen Inseln bei St. Yago in einem 18 F. tiefen Brunnen 24°,4, in einer 1000 F. höher liegenden Quelle aber 25° fand, welche letztere die dortige Lufttemperatur ist, und Buchanan in Nepaul auf einer Höhe von 4140 Fuſs die Temperatur der Quelle 17°,79, die der Luft aber 17°,91, beides nur unmerklich verschieden[5]. Kupffer[6] dagegen verwirft diese Hypothese, weil das meteorische Wasser nicht tief genug eindringe, und leitet dagegen die höhere Wärme aus vulcanischen Einwirkungen her; allein hierdurch werden zwar die eigentlich warmen

1 Poggendorff Ann. XII. 408.
2 Magazin for Naturvidensk. 1826. Hft. II. S. 337.
3 De veget. et clim. in Helv. sept. p. LXXVIII.
4 Phys. Beschreib. d. Canar. Inseln. Berl. 4.
5 Kämtz a. a. O. S. 197. Vergl. L v. Buch in Poggendorff Ann. XII. 408.
6 G. XCI. 184.

Quellen bedingt, es giebt aber selbst in vulcanischen Gegenden solche Quellen, deren Temperatur nicht höher ist, als sie durch die Wärme der äufsern Erdkruste und der Hydrometeore bedingt wird, weil seit dem Aufhören der vulcanischen Ausbrüche die Erdkruste bis zu derjenigen Tiefe, woher das Wasser der kalten Quellen kommt, während der langen Reihe von Jahren bereits die mittlere Temperatur des Orts angenommen hat.

Aus den vorhergehenden Betrachtungen folgt also, dafs die Temperatur der sogenannten kalten Quellen unter den Wendekreisen am höchsten ist, dann im Allgemeinen mit der mittlern Temperatur der Orte nach den höhern Breiten hin abnimmt, bis dahin, wo die letztere unter den Gefrierpunct des Wassers herabgeht. Nach Parry[1] bildet der Polarkreis die Grenze der Quellen, weil über denselben hinaus der Boden stets gefroren ist und blofs zur Zeit der gröfsten Hitze einige sehr oberflächliche aus dem geschmolzenen Schneewasser gebildet werden; allein die Messungen zeigen, dafs diese Linie nicht als richtige Grenze hierfür gelten kann, weil die Isogeotherme für 0° C. bald über, bald unter derselben hinläuft[2]. Kämtz[3] hält gleichfalls die Isogeotherme von 0° C. für die Grenze der Quellen, glaubt jedoch, dafs noch einige über diese hinausgehn können, weil das Wasser vor dem Gefrieren sich tief unter den Eispunct erkälten lasse und aufserdem Erfahrungen dieses darthun sollen, indem namentlich Capt. James[4] an der Hudsonsbay Quellen unter einer Decke von Eis und Schnee das ganze Jahr fliefsend fand. Allein diese bekannte gröfsere Erkaltung des Wassers findet blofs bei ruhig stehendem, aber nicht bei fliefsendem statt, und auf jeden Fall nicht bei solchem, welches mit Eis in Berührung kommt. Giebt es also Quellen jenseit derjenigen Grenze, wo die mittlere Temperatur = 0° C. ist, so scheint mir dieses nur dann möglich zu seyn, wenn die Bodentemperatur dort etwas höher ist, was bekanntlich an verschiednen Orten statt findet. Auf gleiche Weise mufs die Temperatur der Quellen

1 Journ. of a third Voyage cet. Lond. 1826. 4. p. 133.
2 Vergl. *Temperatur.*
3 Meteorologie. Th. II. S. 219.
4 L. v. Buch in Poggendorff Ann. XXII. 405.

mit der Höhe abnehmen, was auch durch directe Messungen, namentlich von WAHLENBERG * in den Alpen, bestätigt worden ist.

KÄMTZ ** hat zur Auffindung der Isegeothermen eine sehr vollständige Zusammenstellung der Temperaturen der bisher gemessenen Quellen mit Rücksicht auf ihre Höhe über der Meeresfläche geliefert, die ich nicht bedeutend zu vervollständigen vermag und der interessanten Uebersicht wegen hier mittheile.

Orte.	Breite.	Länge.	Höhe. t.	Temp.	Beobachter.
Maypures .	5° 14′	—	—	27°,65	v. HUMBOLDT[1].
Kingston (Jamaica) .	18 0	300 55	—	26, 67	HUNTER[2].
Cumana .	10 27	—	—	25, 63	v. HUMBOLDT[3].
St. Yago (Capverd. J.)	15 0	0 7	—	24, 44	SMITH[4].
Congo . .	9 0 S.	—	227t	24, 44	SMITH[4].
Darwar .	11 28	75° 11′0	600	24, 24	CHRISTIE[5].
Havannah .	23 9	295 22	—	23, 50	FERRER[4].
Otaheiti . .	17 30 S.	228 4	—	23, 00	A. ERMAN.
Germa(Sahara)	26 30	—	—	22, 60	DENHAM[6].
Cairo . .	30 2	48 58	—	22, 50	v. HUMBOLDT[3].
Madera . .	32 38	0 37	—	18, 73	L. v. BUCH[4].
Natchez . .	31 28	—	—	18, 30	v. HUMBOLDT[3].
Teneriffa .	28 30	1 8	—	18, 00	L. v. BUCH[4].
Charlestown	33 0	298 35	—	17, 50	v. HUMBOLDT[3].
Capstadt .	33 55 S.	36 6	—	17, 22	J. DAVY[7].
Paramatta .	33 10 S.	—	—	16, 39	BRISBANE[8].
Palermo .	38 7	31 12	—	16, 25	Ungenannter[9].
Carmeaux .	43 0	—	450	13, 00	CORDIER[10].
Philadelphia	39 56	302 28	—	12, 67	WARDEN[3].

* De veget et clim. in Helvetia sept. p. LXXVII.

** Meteorologie a. a. O. Es sind jedoch von mir die schätzbaren Angaben eingeschaltet, welche ADOLPH ERMAN ebendaselbst S. 575. als Nachtrag geliefert hat.

1 Voyages T. VII. 422. VIII. 259.
2 Phil. Trans. 1788. p. 61.
3 Isothermes a. versch. Orten.
4 Poggendorff Ann. XII. 407.
5 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. 10. p. 292 ff.
6 Narrative p. XLVIII.
7 Edinb. Journ. of Sc. N. II. p. 255.
8 Edinb. Phil. Journ. N. XX. p. 219.
9 Morgenblatt 1822. N. 163.
10 Poggendorff Ann. XV. 180.

Orte.	Breite.		Länge.		Höhe. t.	Temp	Beobachter.
New-York	40°	40′	303°	31′	—	12,67	v. Humboldt [3].
Pavia . .	45	11	26	50	—	12,59	Brugnatelli [11].
Taganrog .	47	12	56	37	—	12,50	Elsingk [12].
Cincinnati	39	6	—		—	12,45	v. Humboldt [3].
Nicolajeff .	46	50	49	40	—	12,25	Kupffer [12].
Paris . . .	48	50	20	00	—	11,88	Kupffer [10].
Rom . . .	41	54	30	8	—	11,88	L. v. Buch [4].
Gosport .	50	48	—		—	11,39	Burney [13].
Stavropol .	45	3	59	39	300	10,81	Kupffer [12].
Cork . .	51	54	9	11	—	10,67	Hamilton [14].
San Francisco (Californ.)	37	48	255	34	—	10,63	A. Erman.
Steinbrückean d. Malka.	43	45	—		417	10,62	Kupffer [12].
Moskovskaja Krepost.	45	3	59	42	—	10,62	Kupffer [12].
Albany . .	42	39	—		20	10,56	Greig [15].
Heidelberg	49	25	26	21	60	10,50	Muncke.
Genf . . .	46	12	23	49	202	10,40	v. Humboldt [3].
Potsdam .	52	20	30	45	—	10,10	Erman [10].
London . .	51	31	17	34	—	10,00	Hunter [17].
Halle . . .	51	29	29	38	—	10,00	Kämtz.
Strafsburg	48	35	25	25	—	9,80	Herrenschneider [18].
Dublin . .	53	21	11	22	—	9,67	Hamilton [14].
Basel . . .	47	34	25	15	137	9,50	Merian [19].
Berlin . .	52	31	31	4	—	9,50	Erman [16].
Cambridge (N. A.) . . .	42	23	17	44	—	9,44	Williams [20].
Lowville .	43	47	75	25	120	9,44	Wahlenberg [15].
Zürich . .	47	23	26	12	242	9,40	Wahlenberg [21].
Keswick .	54	33	—		—	9,23	v. Humboldt [3].
Ernisco . .	54	48	—		—	9,23	Hamilton [14].

11 Giornale di Fis. T. X.
12 Edinb. Journ. of Sc. N. S. N. VIII. p. 353.
13 Phil. Mag. monatl. Register.
14 Bibl. Brit. T. VIII. p. 336.
15 Edinb. Journ. of Sc. N. S. Nr. VII. p. 85.
16 Berlin. Denkschr. 1818. S. 382.
17 Phil. Trans. 1788. p. 61. Engeström giebt 10°,8 an.
18 Zeitschr. für d. gesammte Meteorol. I. N. 7.
19 Abhandl. über die Wärme d. Erde in Basel. Basel 1829. 4.
20 Ephem. Soc. Met. Palat. 1785. p. 636.
21 De veget. et clim. in Helvet. sept.

Orte.	Breite.	Länge.	Höhe. t.	Temp.	Beobachter.
Altona . .					
Bellycastle.	53° 32	27 26′	—	9°, 12	SCHUMACHER[22].
Abbotshill(Fi-	55 12	—	—	8, 89	HAMILTON[14].
fe) . . .	56 10	—	—	8, 72	FERGUSON[23].
Colinton bei Edinb .	55 54	14° 24	60	8, 75	Ungenannter[24].
Ebendaselbst				8, 62	
Armagh . .	54 20	—	—	8, 61	HAMILTON[14].
Edinburg .	55 30	14 30	35	8, 61	ROEBUCK[25].
Sölvesborg.	56 2	32 14	—	8, 60	ENGESTRÖM[26].
Carlscrona.	56 6	33 11	—	8, 50	WAHLENBERG[27].
Kendal . .	54 17	—	—	8, 45	DALTON[3].
Warberg .	57 6	29 57	--	8, 30	ENGESTRÖM[26].
Londonderry	55 0	9 52	—	8, 28	HAMILTON[4].
Königsberg	54 42	38 9	—	8, 16	A. ERMAN.
Albisrieden	—	—	—	8, 00	WAHLENBERG[21].
Söderköping	58 25	34 4	286	7, 70	ENGESTRÖM[26].
Fayetteville	42 58	—	—	7, 60	FIELD[28].
Stockholm.	59 20	35 44	—	7, 50	ENGESTRÖM[26].
Christianstad	58 12	31 49	—	7, 50	ENGESTRÖM[26].
Sadonsk .	52 10	46 35	—	7, 38	KUPFER[15].
LubochnaThal.	Carpath.	—	279	7, 25	WAHLENBERG[29].
Faröer Ins.	—	—	—	7, 13	FORCHHAMMER[30].
Nyköping .	58 45	34 38	—	7, 00	ENGESTRÖM[26].
Stockholm	59 20	35 44	—	7, 00	BERZELIUS[31].
Lägstakrog	59 0	—	—	6, 90	WAHLENBERG[27].
Norwegen, Westküste	60 00	—	—	6, 80	ENGESTRÖM[26].
Moscow .	55 45	55 13	—	6, 50	KUPFER[12].
Engelberg.	—	—	—	6, 50	WAHLENBERG[21].
Upsala . .	59° 51′	35° 18	100	6, 50	WAHLENBERG[27].
Rigi, Kaltebad	—	—	507	6, 40	WAHLENBERG[21].
Ullensvang.	60 20	—	734	6, 25	HENTIBERG[32].

22 Astronomische Nachrichten 1830.

23 Ure Handwörterbuch d. Chemie. S. 369.

24 Edinb. Phil. Journ. N. S. Nr. X. p. 356.

25 Phil. Trans. 1775. p. 459.

26 Physiographiske Sälskapets Årsberättelse. Lund 1823. p. 32.

27 G. XLI. 152.

28 Silliman's Journ. of Sc. XV. 190.

29 Flora Carp. p. XCI.

30 Karsten Archiv. II. 197.

31 Chemie übers. von Wöhler. Th. I. S. 404. Diese Bestimmung ist ohne Zweifel die richtigere.

32 Magazin for Naturvidenskaberne 1825. Hft. II. S. 197.

Orte.	Breite.		Länge.		Höhe. t.	Temp.	Beobachter.
Kasan . . .	55°	44′	49°	30′	—	6, 25	Kupfer [10].
Baikhof . .	56	36	41	4	—	6, 21	A. Erman.
Ostaschicha	56	6	62	40	66	6, 21	A. Erman.
Guttannen. (Alp.) .	—		—		1042	6, 20	Wahlenberg [21].
Petersburg.	59	56	47	59	—	6, 12	Kupfer [12].
Wladimir .	56	0	57	0	83	6, 02	A. Erman.
Kasan . .	55	48	67	4	16	6, 00	A. Erman.
Petersburg.	59	54	47	59	—	6, 00	A. Erman.
Molde . .	62	42	23	10	—	6, 00	Engeström [26].
Pilatus . .	—		—		682	6, 00	Wahlenberg [21].
Hochalp . .	—		—		637	5, 90	Wahlenberg [21].
Waldai . .	57	54	50	52	166	5, 71	A. Erman.
Dal-Elf-Mündung . .	60	30	—		—	5, 70	Wahlenberg [27].
Bergen . .	60	24	22	57	—	5, 70	Bohr [33].
Kluitschewskaja Selenie	56	18	178	4	66	5, 63	A. Erman.
Slatoust . .	57	0	74	40	60	5, 60	A. Erman.
Schwander-Allmend.	—		—		744	5, 60	Wahlenberg [21].
Schwarzberg-Alp. . .	—		—		779	5, 50	Wahlenberg [21].
Gefle . . .	60	40	34	43	—	5, 50	Wahlenberg [27].
Kuschwa .	58	18	77	52	—	5, 27	A. Erman.
Nischni Turinsk . .	58	24	77	52	—	5, 25	A. Erman.
Kilmes . .	56	54	68	48	50	5, 00	A. Erman.
Martinsbrunn am Mondberge . .	—		—		709	5, 00	Wahlenberg [27].
Dreybrunnen (Carp.) .	—		—		556	5, 00	Wahlenberg [29].
Abö	60	27	39	58	—	5, 00	Leche [34].
Drontheim	63	30	26	14	—	5, 00	Esmark [35].
Huddiksvall	61	45	34	48	—	4, 80	Wahlenberg [27].
Botzen (Carp.)	—		—		566	4, 55	Wahlenberg [29].
Usi	57	18	52	54	33	4, 40	A. Erman.
Kisnekejewa	54	30	80	0	154	4, 38	Kupfer [10].
Obere Malka (Cauc.) .	43	30	—		1283	4, 12	Kupfer [12].
Pilatus . .	—		—		877	4, 10	Wahlenberg [21].

33 Magazin for Naturvidenskaberne 1826. Hft. II. S. 337.
34 Abhandl. d. Schwed. Acad. 1763. T. XXV. p. 200.
35 Reise von Christiania nach Drontheim. S. 51.

Orte.	Breite.	Länge.	Höhe. t.	Temp.	Beobachter.
Sandsvall .	62° 30'	—	—	4, 00	Wahlenberg[27].
Medelpad .	62 30	—	—	4, 00	Wahlenberg[27].
Krasnojarsk	56 0	110 34	116	3, 91	A. Erman.
Staffelberg	—	—	891	3, 80	Wahlenberg[21].
Stavnicza (Carp.) .	—	—	816	3, 80	Wahlenberg[29].
Irkutzk . .	52 18	121 52	225	3, 75	A. Erman.
Brunni-Alp	—	—	959	3, 70	Wahlenberg[21].
Unalaschka	53 55	—	—	3, 60	Chamisso[36].
Roſsboden	—	—	1096	3, 50	Wahlenberg[21].
Räuberbrunnen (Carp.)	—	—	996	3, 40	Wahlenberg[29].
Nischni Tagilsk. . .	58 00	77 0	116	3, 28	A. Erman.
Jedrowa . .	57 42	51 16	133	3, 12	A. Erman.
Torneö . .	65 61	41 52	—	3, 00	Hellant[37].
Blanke Alp	—	—	996	2, 95	Wahlenberg[21].
Bogoslawsk	59 48	78 4	116	2, 94	A. Erman.
Umeo . . .	63 50	37 52	—	2, 90	Wahlenberg[27].
Nischnei-Tagilsk . .	58 0	77 0	103	2, 88	Kupfer[10].
Tigil . . .	57 54	175 40	25	2, 75	A. Erman.
Werchoturie	58 54	77 52	150	2, 65	A. Erman.
Gransele .	65 0	—	—	2, 60	Wahlenberg[27].
Ochotzk .	59 20	160 54	—	2, 50	A. Erman.
Perm . . .	58 0	74 4	30	2, 50	A. Erman.
Wadsöe . .	70 15	47 32	—	2, 20	Hellant[37].
Lyksele . .	64 30	—	100	2, 00	Wahlenberg[27].
Beresow . .	63 54	82 34	—	2, 00	A. Erman.
Bogoslawsk	60 0	80 0	103	1, 88	Kupfer[10].
Werchne-Udinsk . .	51 48	125 22	300	1, 88	A. Erman.
Poworotnaja Sopka .	57 12	177 16	271	1, 88	A. Erman.
Store,Windeln	65 45	—	177	1, 80	Wahlenberg[27].
Troitzko Ssawks bei Kiächta .	50 24	124 10	450	1, 76	A. Erman.
Enontekis .	68 30	41 30	267	1, 70	Wahlenberg[38].

Warme Quellen, Thermalquellen, Thermen, muſs man alle diejenigen nennen, deren Temperatur nicht durch die bei-

---

36 Kotzebue Reise. Bd. III. S. 165.
37 Schwed. Abhandl. 1753. Bd. XV. S. 319.
38 Flora Lapp. p. LI.

den angegebnen Ursachen, nämlich die gleichbleibende mittlere Wärme des Bodens und der Hydrometeore, bedingt wird. Diese Bestimmung ist nothwendig, um einen festen Unterscheidungsgrund derselben von den kalten zu haben. Es folgt hieraus dann von selbst, dafs eine Quelle an irgend einem Orte eine warme zu nennen ist, die an einem andern eine kalte seyn würde. Kaum scheint es mir erforderlich, diesen keineswegs allgemein angenommenen Unterschied zu rechtfertigen, welcher ohne Widerrede besser begründet ist, als die Annahme irgend einer bestimmten Temperatur; denn man würde offenbar eine Quelle von 25° C. in Norwegen eine Thermalquelle nennen, die es unter der Linie aber nicht wäre. Schwerlich wird man einen Gegengrund gegen diese Bestimmungsart daraus hernehmen können, dafs es hiernach ungewifs bleibe, ob eine Quelle unter die warmen zu zählen sey, da nicht selten die kalten um einen oder selbst einige Grade wärmer sind, als die mittlere Temperatur des Orts; denn an allen Orten, wo Thermalquellen sind, giebt es auch kalte und zwar mehrere, aus denen die örtliche Mitteltemperatur der Quellen leicht entnommen und somit aufgefunden werden kann, ob die Temperatur einer Thermalquelle über diese hinausgehe.

Man findet die warmen Quellen überall in allen Welttheilen, sowohl auf dem Continente als auch auf Inseln, in grofser und geringer Entfernung vom Meere, auch in ungleichen Höhen über dem Meeresspiegel, jedoch erreichen sie nicht ganz die Höhe der kalten. Am zahlreichsten sind sie in vulcanischen Gegenden und hängen dort nicht selten als intermittirende Springbrunnen mit den vulcanischen Thätigkeiten zusammen, in welcher Beziehung sie auch bei der Untersuchung der Vulcane mit berücksichtigt werden müssen. Blofs bei diesen letztern Quellen erreicht die Wärme den Siedepunct, bei allen übrigen ist sie niedriger, wie auch fast nothwendig daraus folgt, dafs das Wasser sogleich unter diese Temperatur herabsinkt, wenn es von der erhitzenden Ursache entfernt wird. Einige Quellen kommen indefs der Siedehitze nahe, andere dagegen haben blofs den Schein einer so hohen Temperatur, weil sie bei ihrem Ursprunge nach Art des siedenden Wassers sprudeln, was jedoch eine Folge der grofsen Menge des gleichzeitig ausgestofsenen Gases ist. Dieses sieht man

namentlich in Wiesbaden [1], bei einer heifsen Quelle auf Ceylon, die viel Stickgas ausstöfst [2], und bei vielen andern, selbst kalten Quellen.

Unter die warmen Quellen gehören nach der aufgestellten Bestimmung auch die Salzquellen, mindestens die meisten derselben, ungeachtet ihre Temperatur die mittlere der Orte nicht merklich übersteigt und nicht füglich bedeutend über diese hinausgehn kann, weil sie dadurch entstehn, dafs das hydrometeorische Wasser zu den in ungleichen Tiefen vorhandenen Salzstöcken oder Salzlagern hinabdringt und mit dem aufgelösten Salze in ungleichem quantitativen Verhältnisse verbunden wieder emporquillt. Hiernach müfste ihre Temperatur derjenigen der sogenannten kalten gleich seyn, und wenn sie hierüber hinausgeht, so scheint die Ursache hiervon nur in zwei Bedingungen liegen zu können, nämlich zuerst in der Auflösung des Salzes und zweitens in der gröfsern Tiefe, worin meistens die Salzlager angetroffen werden. Die erste dieser beiden Ursachen müfste eigentlich das Gegentheil bewirken, weil bei der Auflösung von Salzen bekanntlich viele Wärme gebunden wird, die zweite wird dadurch sehr beschränkt, dafs die Tiefe, aus welcher die Soolquellen kommen, im Ganzen nicht sehr bedeutend ist, und es scheint mir daher bei der Möglichkeit einer Mitwirkung noch anderer Ursachen sehr schwierig zu seyn, dieses Problem genügend zu lösen, und zwar um so mehr, da die Temperatur dieser Quellen nicht mit ihrer Tiefe, wohl aber mit ihrer Löthigkeit zu wachsen scheint, wie namentlich Egen [3] gefunden hat. Dieser fand nämlich die Soolquelle aus einem Bohrloche zu Königsborn in Westphalen = 14°,3 C., die eine zu Werl = 15°, eine andere daselbst = 14°,9; die Quelle bei Soest zeigte im September 12°,9, im December 11°,6, die zu Sassendorf im September 13°,2, zwei andere nicht tiefe Brunnen daselbst im September 9°,8 und 9°,7; zwei Brunnen zu Westernkotten 13°,1 und 13°,9; die Quelle zu Rheine 11°,6; zu Rothenfelde 16°,25 bis 16°,9; die aus einem Bohrloche zu Neusalzwerk 15°,75. Alle diese Temperaturen sind im Ganzen con-

---

1 Neue Schriften d. Gesells. Naturf. Freunde. Bd. III. S. 104.
2 John Davy in Ann. Ch. et Phys. XXIII. 269.
3 Karsten's Archiv. Th. XIII. S. 305.

stant, und überhaupt liegt die Wärme jener Quellen zwischen 10°,25 und 18°,25, mithin meistens nicht ganz unbedeutend höher als die mittlere des Bodens. Dafs die Salzquellen zu Goraedschewodik im Caucasus wärmer sind, als sie der Bodentemperatur nach seyn müfsten, liegt wohl an der vulcanischen Beschaffenheit jener mit Thermen reichlich versehenen Gegend[1]. Uebrigens sind die Soolquellen nur selten zur Erforschung ihrer Temperatur untersucht oder vielmehr die Beobachtungen sind nicht bekannt gemacht worden, weil ihre Wärme die mittlere der Orte nur unbedeutend übersteigt und daher die Aufmerksamkeit nicht erregt. Es ist jedoch eine genügende Zahl von Messungen bekannt, um die Thatsache selbst aufser Zweifel zu stellen, wie namentlich schon aus der tabellarischen Uebersicht der Temperaturen der Salzquellen in Deutschland und der benachbarten Länder hervorgeht, welche Keferstein[2] über die Tiefe in rheinländischen Fufsen, die Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale und die Felsarten, woraus sie entspringen, mitgetheilt hat. Zur leichtern Beurtheilung wird übrigens genügen hinzuzusetzen, dafs man die mittlere Temperatur der kalten Quellen im nördlichen Deutschland zu 10°, im südlichen zu 10°,5 und im Elsafs zu 11° bis höchstens 11°,5 als ziemlich genähert annehmen könne.

Namen der Quellen.	Tiefe rheinl. F.	Temp. C.	Gebirgsart.
1. Preufsen.			
Greifswalde . . .	34	10	jüngste Formation.
Königsborn in Westph.	492	14,3	grüner Mergel.
Werl	60	15	desgl.
Soest	—	12,5	desgl.
Sassendorf . . .	—	13,2	desgl.
Westernkotten . .	—	13,5	desgl.

1 Trommsdorff Neues Journ. d. Pharm. XII. S. 288.

2 Ann. of Philos. New Ser. T. VII. p. 109. Bei den eben genannten in Westphalen sind die genaueren Temperaturbestimmungen durch Eckn aufgenommen und einige andere Angaben, namentlich aus Dr. Stucke's Mineralquellen, hinzugesetzt worden. Dennoch aber macht diese tabellarische Zusammenstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Namen der Quellen.	Tiefe rheinl. F.	Temp. C.	Gebirgsart.
Rheine	180	11,6	Gryphitenkalk.
Rothenfelde . . .	—	16,6	desgl.
Neusalzwerk . .	66	15,75	desgl.
Halle	71	15	Muschelkalk.
Schönebeck . . .	280	15	desgl. u. bunt. Sandst.
Stassfurth . . .	—	15	bunter Sandstein.
Kösen	588	18,75	rother Mergel.
Dürrenberg . . .	712	17,5	bunter Sandstein.
Teuditz	451	11,25	desgl.
Kötschau . . .	194	13	desgl.
Artern in Thüringen	—	12,5	desgl.
2. Mecklenburg.			
Sulz	45	11,75	Sandformation.
3. Hannover.			
Rothenfelde . . .	12	17,5	Gryphitenkalk.
4. Lippe-Detmold.			
Salzuffeln . . .	144	11,25	desgl.
5. Churhessen.			
Carlshafen . . .	70	10,6	bunter Sandstein.
Allendorf . . .	104	15	desgl.
Schmalkalden . .	80	16,25	desgl.
Rodenberg . . .	95	12,5	Gryphitenkalk.
6. Hessen-Darmstadt.			
Wimpfen . . .	462	14,7	desgl.
7. Baden.			
Rappenau	590	14,25	desgl.
8. Würtemberg.			
Friedrichshall . .	524	15	Zechstein.
Offenau	560	15	Muschelkalk.
Sulz	350	16,6	desgl.
Kannstadt . . .	—	12,5	Knuper.
9. Baiern.			
Reichenhall . . .	45	10	Kalkstein-Conglomerat.
10. Schweiz.			
Bex	819	10	Schiefer-Formation.
Moutiers	—	37,5	desgl.

Namen der Quellen.	Tiefe rheinl. F.	Temp. C.	Gebirgsart.
11. Elsafs u. Lothringen.			
Dieuze	—	12,5	Gryphitenkalk.
Moiensik	—	13,75	desgl.
Chateau-Salins .	46	17,5	desgl.
Niederbrunn bei Saarbrück	—	18,75	Flötzgebirge.
12. Ungarn.			
Sulze	—	15	

VI. Bestandtheile der Quellen.

Das Quellwasser ist im Allgemeinen rein, wie destillirtes oder wie Regenwasser, weil es im Ganzen durch einen Destillationsprocefs erhalten ist, indem es durch Verdampfung von der Oberfläche der Erde aufsteigt und durch den Niederschlag in den Hydrometeoren wieder zurückgeführt wird. Während es jedoch in den Boden eindringt und sich theils in den unterirdischen Canälen ansammelt, theils fortfliefst, nimmt es von den daselbst vorgefundenen auflöslichen Substanzen auf und wird hierdurch verunreinigt. Die Wasser der kalten Quellen dringen meistens nicht tief in die Oberfläche der Erdkruste ein und nehmen daher auch keine bedeutende Menge aufgelöster Substanzen in sich auf, die jederzeit mit der Beschaffenheit des Bodens, woraus sie entspringen, übereinkommen. Am reinsten sind daher diejenigen Quellen, welche aus dem über Urgebirgsarten gelagerten Sandsteinen entspringen, indem sie gar keine fremdartigen Bestandtheile enthalten, aufser etwas atmosphärische Luft mit einigem Ueberschusse von Sauerstoffgas und wenig kohlensaures Gas, welche Gasarten überall vom Wasser begierig aufgenommen werden. Aufserdem enthalten viele Quellen, hauptsächlich mehrere Thermen, eine bedeutende Menge Stickgas, welches wegen seines mangelnden Einflusses auf die Beschaffenheit des Wassers nur dann beachtet wird, wenn seine Menge sehr bedeutend ist. So finden sich z. B. südöstlich von Hossick in Newyork in einem Umfange von 4 bis 5 Acker Landes drei Quellen, aus denen eine unbestimmbare Menge reines Stick-

gas aufsteigt. Es ist zugleich reichlich in dem das Wasser umgebenden Kiessandbette enthalten, aus welchem es hervorquillt und in Flaschen aufgefangen werden kann, wenn man darauf drückt[1]. In der Regel befinden sich jedoch auf der Oberfläche der Erde, auf welche das Wasser der Hydrometeore fällt, einige organische Substanzen, bei weitem zum gröſsten Theile aus dem Pflanzenreiche bestehend, wovon einiges dem Quellwasser mitgetheilt wird. Die Menge dieser Stoffe ist so gering, daſs in der Regel der Geschmack dadurch nicht verändert wird, allein es liegt hierin die Ursache, daſs das auf den Schiffen in Tonnen aufbewahrte und das in Cisternen gesammelte Wasser anfangs zu gähren beginnt, sich wenig trübt und einen unangenehmen Geschmack annimmt, bis der Rest der organischen, durch Gährung zersetzten Substanzen niederfällt und das Wasser vollkommen rein zurückbleibt. Ist die Menge der organischen Substanzen gröſser oder wird sie durch die Aufbewahrungsgefäſse vermehrt, so tritt eine Art fauliger Gährung ein, welche das Wasser übel riechend und schmeckend macht. Das ganz reine Wasser hat gar keinen Geschmack, ist also fade, zum Waschen und zum Kochen der Speisen am meisten geeignet, der Gesundheit auf keine Weise nachtheilig, zum Trinken aber als völlig indifferent nicht angenehm, läſst sich jedoch durch Zusatz einer sehr geringen Quantität von Kochsalz angenehmer machen.

Das schlechteste und unreinste Wasser liefern diejenigen kalten Quellen und Brunnen, die in flachen Gegenden aus den eindringenden meteorischen Niederschlägen gebildet werden. Enthält die Erdoberfläche viel Humus, insbesondre an bebauten und bewohnten Orten, so löst das Wasser eine beträchtliche Menge der vorgefundenen, in Zersetzung begriffenen, organischen Substanzen auf, und obgleich die gröbern Theile durch Filtration um so mehr abgesondert werden, je tiefer das Wasser vor seiner Vereinigung in Quellen oder weit öfterer in Brunnen herabsinkt, so bleibt doch stets einiger Antheil zurück, welcher dem Wasser einen unangenehmen Geschmack ertheilt und es für die Gesundheit nachtheilig macht. Am auffallendsten findet man dieses bei Brunnen in Moorgegenden, weswegen man diese Wasser bald durch den Ge-

1 Edinb. Phil. Journ. VII. p. 387.

schmack unterscheidet und zur bessern Ausscheidung der verunreinigenden Substanzen zum Filtriren seine Zuflucht nimmt [1], wie dieses namentlich in Paris geschieht. Diejenigen Quellen, welche aus kalkhaltigen Lagerungen kommen, führen eine gröſsere oder geringere Menge kohlensaurer, salzsaurer oder schwefelsaurer Kalkerde mit sich, da diese Mineralien in geringer Quantität im reinen Wasser auflöslich sind. Enthält das Wasser eine gröſsere Menge Kohlensäure, so unterstützt diese die Auflösung des kohlensauren Kalks, die Auflösung ist reicher, aber beim Austritte an die atmosphärische Luft entweicht eine Quantität Kohlensäure, ein Theil der Kalkerde fällt hierdurch, ein anderer durch die Verdunstung des Wassers nieder und es entstehn die verschiednen Tropfsteingebilde. Aber auch durch das Sieden wird ein Theil der aufgelösten Erden gefällt und in den Kochgefäſsen, namentlich den metallnen, der Sinterstein, Pfannenstein (oft unrichtig Salpeter genannt) gebildet, welcher in kalkreichen Gegenden nach einiger Zeit zu merklicher Dicke anwächst, meistens durch organische Stoffe, namentlich Erdharz, braun oder braunschwarz gefärbt ist und durch Klopfen des Metalls erst abgelöst, dann fortgeschafft wird. Befinden sich auflösliche Salze, salpetersaure, salzsaure, schwefelsaure u. a. in den Lagerungen, durch welche das Wasser der Quellen dringt, so nimmt dasselbe einen Theil davon auf, welcher oft so bedeutend ist, daſs das Wasser dadurch untrinkbar wird. Bei der sehr allgemeinen Verbreitung des Kochsalzes findet sich dieses am häufigsten in den Wassern der Brunnen, und man darf annehmen, daſs das Wasser nur selten ganz rein davon ist. Die Wasser dieser Art sind zum Waschen und zum Kochen der Speisen, wie auch überhaupt zu technischen und ökonomischen Zwecken, minder geeignet, eine geringe Menge von Salzen und Erden, insbesondere aber eine reichlichere Quantität absorbirter Kohlensäure, macht es dagegen für den Geschmack angenehmer, der Gesundheit aber nicht nachtheilig, vielmehr wirkt die letztere durch ihren Reiz auf die Verdauungsorgane wohl vortheilhaft. Die gewöhnlich dem übrigens klaren Quellwasser beigemischten Substanzen sind demnach etwas Gerbestoff, Erdöl, deren gröſsere Menge in Moorgegenden eine etwas gelbe, ins Bräunliche spielende Farbe

1 Vergl. *Filtriren*. Bd. IV. S. 245.

ertheilt, einige vegetabilische Substanzen, mineralische Salze und hauptsächlich Kalkerde, die sich nach längerer Zeit an den Wandungen der Gläser ansetzen und diese trüben.

Enthält das Wasser der Quellen eine gröſsere Quantität beigemischter Substanzen, so gehören sie zu den mineralischen, den *Mineralquellen*, die man wegen ihres Einflusses auf die Gesundheit auch Heilquellen zu nennen pflegt, jedoch rechnet man zu diesen auch solche heiſse Quellen, deren Wasser so rein als das gewöhnliche ist. Die Temperatur der Mineralquellen übertrifft bei der Mehrzahl derselben die mittlere der in ihrer Gegend befindlichen reinen, ist stets gleichbleibend, und diese gehören also zu den Thermen; einige sind jedoch nicht wärmer, vielmehr sollen wenige sogar eine noch geringere Wärme haben. Zur Uebersicht derselben[1] scheint es mir am zweckmäſsigsten, sie nach denjenigen Bestandtheilen zu ordnen, die ihren hervorstechenden Charakter bezeichnen und meistens Veranlassung zu ihrer Benennung gegeben haben, dann ihre sonstigen wesentlichen Bestandtheile, wenn solche vorhanden sind, ihre Temperatur und die Gebirgsart, woraus sie entspringen, hinzuzufügen, soweit dieses alles bis jetzt bekannt ist[2], wobei jedoch die bereits genannten Soolquellen oder Kochsalzquellen zu übergehn sind.

1. *Chemisch indifferente Quellen* oder heiſse Quellen von süſsem Wasser giebt es in allen Welttheilen und sie entspringen insgesammt entweder aus vulcanischen oder aus Urgebirgsarten, wie hauptsächlich v. Humboldt[3] zuerst aufgefunden und ungeachtet der ihm gemachten Einwendungen bestimmt behauptet hat, andere aber gleichfalls bestätigt haben, unter denen bloſs Brongniart[4] genannt werden möge. Mit

1 Die hier folgende Uebersicht ist auf keine Weise vollständig, auch scheint mir dieses hier unnöthig zu seyn. Ungleich vollständigere Tabellen giebt Keferstein in: Zeitung für Geognosie u. s. w. 1827. St. IV. S. 1 bis 60. St. VI. S. 1 bis 28.

2 Eine alphabetisch geordnete, hier benutzte, tabellarische Uebersicht giebt C. Stucke in: Abhandlung von den Mineralquellen im Allgemeinen und Versuch einer Zusammenstellung von 880 der bekannteren Mineralquellen und Salinen Deutschlands, der Schweiz und einiger angrenzenden Länder. Cöln 1831. kl. Fol.

3 Reisen. D. Ueb. Th. III. S. 42.

4 Histoire naturelle de l'Eau. p. 28.

Ausschlufs derjenigen, welche durch ihr Verhalten den innigsten Zusammenhang mit den Vulcanen zeigen und daher mit diesen zugleich am schicklichsten untersucht werden, sind folgende die bekanntesten.

In Europa verdienen vorzüglich die auf Island erwähnt zu werden, deren nähere Beschreibung ich jedoch für die Untersuchung der Vulcane vorbehalte. Auf gleiche Weise hat auch Lichtenau, nahe bei der Insel Onartok in Grönland, drei heifse, nicht näher bekannte Quellen[1]. Bei Kappenhardt im Würtemberg'schen entspringt eine Therme von 23°,75 C. aus Granit, die Temperatur des Zellerbads, gleichfalls in Würtemberg, ist nicht bekannt, Liebenzell bei Wildbad hat 24°, das Hubbad in Baden 36° und kommt aus Granit, zu Wolkenstein im sächsischen Erzgebirge entspringt eine nur wenig Natron enthaltende Therme von 30° aus Thonschiefer mit Basalt, Wildbad im Würtemberg'schen und Wildbad-Gastein in Steiermark sind beide chemisch indifferente, aus Granit entspringende Quellen, erstere von 35°, letztere von 48°,75 Temperatur. Die aus Granit entspringende Therme zu Badenweiler hat 25°, zu Hubbad 36°; die zu Bude bei Chemnitz in Sachsen gleichfalls aus Granit hervorkommende hat 70°, desgleichen die aus gleicher Felsart entspringende zu Krapin in Mähren 37°,5; die von Martini Bagno und von Petersthal in der Lombardei dagegen entspringen aus Gneis, erstere von 47°,5, letztere von 37°,5. Auf gleiche Weise giebt es aufser dem bekannten Teplitz in Böhmen noch eine Therme gleiches Namens unweit Villach in Kärnthen, eine zweite bei Neustadt in Krain, eine dritte bei Cilly in Steiermark, welche aus Thonschiefer, Glimmerschiefer und Granit entspringen, eine vierte unweit Trentschin in Ungarn und eine fünfte nicht weit von Warasdin in Croatien von 57°,5. In Ungarn ist aufserdem die Therme zu Glashütte, aus Granit kommend, von 53°,75 und in Siebenbürgen die bei Vatz von 31°,25. In der Schweiz giebt es einige und zwar berühmte Thermen, zu Leuk aus Alpenkalk von 50° und zu Naters aus gleicher Felsart; zu Massino und St. Martino, beide aus Granit, erstere von 33°,75, letztere bis 47° C.; die Temperatur der Therme zu Onsernone in Tessino ist wenig bekannt, desto berühmter aber ist Pfeffers oder Pfäfers in St. Gallen wegen seiner wahrscheinlich

1 Egede's Tagebuch u. s. w. S. LXIV.

aus Lias entspringenden Therme von 44° C. Bei Luxevil im Dep. Haute-Saone entspringt eine Therme aus Granit mit übergelagertem Sandstein von 57° C., die zu Mont d'Ore aus Granit hat 54° C., die zu Bourbonne les Bains aus Jurakalk über Granit kommende hat 71°,25; die zu Chaudes-Eaux und von Vecoux, beide in den Vogesen und aus Granit entspringend, haben 24° C.; die zu St. Gorraise[1] hat 35° bis 36°; die von Saute de Pucelle 34°; die zu Chaudes-Aigues[2] im Departement du Cantal haben 70° und 80°, sind denen zu Plombières sehr ähnlich und werden kaum zu Bädern, destomehr zum Heizen der Häuser und zu technischen Zwecken benutzt. Andere findet man zu Dax im Departement des Landes, zu Oleron bei Pau, zu Encausse bei St. Gaudens und sonst häufig an der Pyrenäen-Kette. Die zu Caudies unweit Pergignan hat 27°,5 Wärme.

Die Therme zu Bath in England gehört wohl nicht zu den chemisch indifferenten, indeſs sind mir ihre Bestandtheile nicht genau bekannt, und ich bemerke daher nur, daſs sie 40°, nach Canton[3] sogar 50° Wärme hat. Auſserdem gehört die zu Clifton und die zu Buxton unter die bekanntesten in England. Italien ist sehr reich an Thermen, deren Gehalt mir jedoch nicht bekannt ist. Auſser den vielen, welche Dolomieu auf Lipari und Volcano fand, gehören dahin hauptsächlich die von Albano, 30° bis 50° warm, die Schwefelquelle Acqui Piemont 51° bis 64°; die von Castelamare, meistens 40°; von Guitara 35° bis 54°; die von Lucca 30° bis 54°, nach Franceschi[4] stets 53°,75; von St. Giulieno 31° bis 38° und von Sardara 44° bis 50° C. warm[5]. Die heiſse Quelle von Pisa hat 43°,75 C. Wärme[6]. Bei Abano ist eine schon den Römern bekannte Schwefel-Therme, so reich, daſs sie gleich nach ihrem Ursprunge ein Mühlrad treibt[7], und die Piscarelli des Agnano-Sees haben sogar 93° C. Wärme[8].

---

1 Bakewell in Phil. Mag. and Ann. III. 14. Poggend. Ann. XII. 511.
2 Journal of the Royal Inst. N. II. p. 417.
3 Phil. Trans. LXVII. 203.
4 Igea dei Bagni. Lucca 1820. 2 Bde. 8.
5 Paganini in Brandes Archiv. XXIX. 176.
6 Brunner in Kastner Archiv. XVIII. 347.
7 Otto Hydrographie. S. 120.
8 v. Humboldt Reisen. D. Ueb. Th. III. S. 145.

In Asien giebt es viele heiſse, meistens mineralische Quellen, namentlich die in einem nicht sehr groſsen Districte vereinten Soolquellen, alkalische, Sauerbrunnen, Schwefelwässer, Stahlwasser und Seifenwasser zu Goraedschewodsk oder Piatigoria im Caucasus[1], welche zu bequemen, an Pracht die europäischen Anlagen der Art noch übertreffenden, Badeorten eingerichtet sind. Ihre Temperatur ist zwischen 15° und 46° C., der meisten zwischen 25° und 38°, und übertrifft daher die der dort gleichfalls vorhandenen, bereits erwähnten Salzquellen[2]. Einige derselben sind untersucht durch Neljubin[3], z. B. die Schwefelquelle von Maschuka, deren Temperatur 27° bis 46° C. beträgt. Andere heiſse Quellen an der Turca[4] entspringen aus Gneis und haben 56° C. Wärme; zu Diadima, etwa 6 Meilen von Bajazid am obersten Theile des Euphrat, sind auſser Säuerlingen und Schwefelquellen auch heiſse, zum Theil im Flusse selbst[5]; Kamtschatka hat heiſse Quellen in Menge[6], am bekanntesten aber sind die von Urijino in Japan, welche Siedehitze haben[7]. In China zu Yom-Mack, nicht weit von Macao unter 22° 24′ N. B. und 113° 28′ O. L. von Greenwich, befindet sich neben Granitbergen eine sumpfige Gegend von etwa einer engl. Quadratmeile Flächeninhalt mit mehreren heiſsen Quellen, unter denen drei sich vorzüglich auszeichnen, deren Temperatur bei der einen 56°, bei der andern 56° und bei der dritten 86° beträgt[8]. Zwei heiſse Quellen, die eine bei Pinnarkoon von 46°,5, die andere bei Loorgoota von 71°, zuweilen aber bis 85°,5 steigend, enthalten nach Turner's[9] Analyse nur wenige mineralische Bestandtheile. Höchst interessant sind die heiſsen Quellen, welche Hodgson mitten in den Himalaya-Gebirgen in der Nähe des Jumna-Flusses antraf, deren eine sich durch ihren Dampf

---

1 Berghaus Ann. der Erd-, Völker- und Staatenkunde. Bd. V. S. 342.

2 Trommsdorff Neues Journ. d. Pharm. XII. 288.

3 Kastner Archiv. XIII. 465.

4 Hertha 1823. März. Zeitung. S. 93.

5 Zaremba in Magaz. für die neu. Geschichte d. evang. Missions- und Bibel-Gesellschaft 1831. Heft 3. S. 449.

6 Kotzebue Reisen. S. 3.

7 A. v. Humboldt Reis. D. Ueb. III. 166.

8 Livingstone in Edinb. Phil. Journ. N. XI. p. 156.

9 Edinb. Journ. of Sc. N. XVII. p. 95.

ein grofsartiges Gewölbe in dem dortigen beständigen Schnee gebildet hatte; ihre nicht genau gemessene Temperatur mufs 70° C. übersteigen [1]. Inzwischen ist die Anwesenheit heifser Quellen in jenen Gebirgen, die so zahlreiche Spuren der Vulcaneität zeigen, gar nicht zu verwundern, und man hat daher auch mehrere dort gefunden von ungleicher Temperatur, eine namentlich zu Buddreenaut von 59° Wärme [2].

Vom Africanischen Continente ist mir nur eine einzige Therme bekannt geworden, die jedoch zugleich im Allgemeinen unter die gröfsten und wichtigsten gehört, nämlich die auf dem Cap der guten Hoffnung. Nach LICHTENSTEIN [3] entspringt sie am Fufse eines Gebirgs, fällt in ein Bassin von 40 Quadratfufs Fläche und ist so reich, dafs sie in jeder Minute 4 Oxhoft Wasser von 82° C. liefert; nach BURSHEL hat sie jedoch nur 60° Wärme. Das Becken der Quelle ist mit Sand bedeckt, rund umher mit Granitblöcken umgeben und über ihr liegt ein Thonschieferlager.

America, so reich an Vulcanen, hat hiernach auch eine grofse Menge und sehr bedeutende heifse Quellen, deren genauere Kenntnifs wir gröfstentheils den gründlichen Forschungen des berühmten Reisenden A. von HUMBOLDT [4] verdanken. Die des Berges Brigantin bei Nueva Barcelona haben 43°,2 Wärme; die von Mariara in den Thälern von Turbaco kommen aus einer Schlucht in Gneis und granathaltigem Glimmerschiefer, worin sich Trichter von verschiedener Tiefe über einander liegend befinden. In den untern Trichtern ist das Wasser wärmer, so dafs die Temperatur desselben zwischen 36° bis 59° C. beträgt, alle Quellen in einen einzigen Bach vereint aber 48° Wärme zeigen. Die schwefelwasserstoffgas-haltigen Quellen von Las Trincheras zwischen Porto-Cabello und Valencia entspringen fast in der Bergkette selbst am nördlichen Abhange, aus grobkörnigem Granit, haben 90°,4 Wärme und bilden einen kleinen Flufs, welcher zur Zeit der gröfsten Trockenheit noch 2 Fufs tief und 18 Fufs breit ist. Das Wasser setzt überall Ueberzüge von kohlensaurer Kalkerde ab und

---

1 Edinb. Phil. Journ. N. XVII. p. 13 ff.
2 Edinb. Journ. of Sc. N. XIII. p. 55.
3 Reisen. Bd. I. S. 239.
4 Dessen Reisen. D. Ueb. Bd. III. S. 46. 145. 167.

mufs also über Lager von Urkalk kommen, welcher im Gneis und Glimmerschiefer der Küsten von Caracas häufig vorkommt. Auch in der Sierra Nevada de Merida finden sich siedend heifse Quellen. Viele heifse Quellen, einige siedende und mehrere als Fontainen springend, meistens reine, einige von salzhaltigem, auch schlammigem und trübem Wasser, sind in grofser Zahl vereinigt auf einer Ebene neben dem Mexicanischen Dorfe Ystlan im Staate Machaocan[1]. Ferner trifft man Asphaltquellen, periodisch springende Quellen siedenden Wassers und Salsen neben mächtigen Lagern Steinsalz in der Nähe des Vulcans Antuco in Chile[2]. Boussingault und Rivero[3] haben viele heifse Quellen in der Nähe der Vulcane der Cordilleren aufgesucht und ihre Bestandtheile durch Analyse bestimmt. Dahin gehören am Tolima die Schwefelquelle von Juan auf 12000 F. Höhe und von 32° C. und die von Toche in Quindiu auf 3000 F. Höhe von 35°,5 C.; am Purace die Schwefelquelle Agua tibia auf 12000 F. von 36° und von Coconuco 7500 F. hoch 72°,8 warm; am Vulcan von Pasto die von Pandiaco auf 7725 F. Höhe von 36° Temperatur; am Cumbal eine Quelle, worin Eier hart werden; am Antisana die Eisenquelle bei Lysco auf 10650 F. Höhe von 27°,2; am Catopaxi von 36°,7 C., am Tunguragua die bei Los Baños von 54°,5 auf 5727 F. Höhe.

Auch auf den vulcanischen Inseln fehlen die heifsen Quellen nicht, vielmehr findet man sie daselbst sehr häufig, z. B. auf der azorischen Insel St. Miguel von 36°, 88° und 100° Wärme[4]. Forster[5] fand auf der Insel Tanna heifse Quellen von 88° Wärme und am Meerbusen Ferri auf Guadaloupe ist eine solche, worin Eier in kurzer Zeit hart gesotten werden[6], auf Ceylon ist eine an Stickgas sehr reiche Therme[7] und auf Amsterdam giebt es deren mehrere, welche Siedehitze haben[8].

1 Lyon's Journal of a Residense and Tour in Mexico.
2 Pöppig in Froriep Notizen Th. XXXI. S. 40.
3 Ann. Ch. Phys. LII. 181.
4 Webster in Ann. of Phil. N. S. III. p. 316.
5 Bemerkungen S. 86.
6 Labat Voyage. T. I.
7 J. Davy in Ann. de Chim. et Phys. XXIII. 269.
8 Macartney in Bibl. Brit. VI. 188.

2. Mit Kohlensäure mehr oder weniger stark geschwängerte, sogenannte *Säuerlinge*, giebt es sehr viele und von verschiednen Temperaturen, auch werden dieselben durch anderweitige, in ungleichen Mengen vorhandene, Bestandtheile zu eigentlichen Mineralwässern. Die Wärme ist übrigens der Aufnahme von Kohlensäure durch Wasser nicht günstig, vielmehr treibt sie dieselbe aus, inzwischen behauptet dennoch L. von Buch[1], dafs die sauern Quellen allezeit wärmer sind als die süfsen an den nämlichen Orten, weil die Kohlensäure, vom heifsen Wasser der meistens in der Nähe befindlichen Thermen zurückgestofsen, das sich mit ihr verbindende kalte Wasser erwärmt. Im Ganzen aber werden die Säuerlinge als kalte Quellen betrachtet, und man hat daher ihre Wärme, wo sie nicht in sehr seltnen Fällen die Aufmerksamkeit erregte, unbeachtet gelassen, weswegen die Beobachtungen hierüber fehlen. Die meisten derselben kommen aus ältern Gebirgsarten, und sehr häufig findet man deren mehrere in geringer Entfernung von einander beisammen, auch sind manche Säuerlinge wegen ihrer geringern Heilkraft nur wenig bekannt. Um keine der merkwürdigern zu übergehn, theile ich diejenigen mit, welche Stucke der Aufnahme werth hielt, und einige andere sonstig bekannte. Eine überwiegend grofse Menge findet sich in Rheinpreufsen, sämmtlich aus Thonschiefer entspringend, namentlich zu Ahrweiler, Bauler, Bell, Bettenfeld, Büdesheim, Cradenbach, Dockweiler, Dörth, Ehrenbreitstein, Eitelsbach, Erlenbach, Ersch, Essingen, Ettingen, Fasterak, Flosbach, Frankirch, Geisfeld, Gillenfeld, Hambach, Heckenmünster, Hermeskiel, Kasel, Kesten, Laach, Leiningen, Lissingen, Longvich, St. Mathias, Meisburg, Merlesdorf, Mindesleitschen, Mülleborn, Nachtschein, Neuenstein, Nicknich, Niederstadtfeld, Oberehe, Obermendig, Olsheim, Pelm, Rascheid, Raubenach, Reichen, Reinhausen, Reuth, Ringen, Riol, Rockeshill, Salm, Schönberg, Steinborn, Thron, Treis bei Wittlich, Wallenborn, Walersheim, Wahlscheid, Wassenach, Wehr, Weiler, Wilzenburg, Winningen, Wittlich und Zissen. Die in Westphalen dagegen kommen aus andern Gebirgsarten, namentlich die von Schöneberg unweit Drieburg, von Schmechte und Her-

---

1 Physische Beschreibung der Canarischen Inseln. Berlin 1825. S. 68.

ste aus buntem Sandstein, die von Vlotho und Wöbbel aus Muschelkalk und die von Bünde aus Keuper. Wegen des am Rhein vorherrschenden Thonschiefers entspringen auch die zahlreichen Säuerlinge im Nassauischen aus dieser Felsart, nämlich zu Berlach, Buch, Fischbad, Grebenroth, Holzhausen, Marienfels, Montabauer, Münchenroth, Nassau, Nafsstädten, Niederreifsen, Oberlahnstein, Ramscheid, Rückertshausen, Sauerthal, Scheuren, Schiesheim, Springen und Wolmerscheid. Sämmtliche reine Säuerlinge in Kärnthen entspringen gleichfalls aus Thonschiefer, zu St. Barbara, Imnichen, St. Leonhard, Neuschütz und Weisbach. In Salzburg entspringen blofs die zu Burgweese, Weichselbach und Zellerbad aus Thonschiefer, dagegen die zu Aigen, Badgraben und Unken aus Alpenkalk.

Inzwischen sind keineswegs, wie es nach der grofsen Zahl der eben genannten fast scheinen könnte, die Säuerlinge ausschliefslich an Thonschiefer gebunden, aus welchem auch die Quellen von St. Amand in Belgien und von Perneg in Steiermark entspringen, vielmehr folgt schon aus ihrer sehr allgemeinen Verbreitung, dafs sie aus den verschiedenartigsten theils älteren theils jüngeren Gebirgsarten hervorkommen müssen. In Schlesien entspringt blofs die von Möltsch aus Thonschiefer, dagegen der Carlsbrunn aus Glimmerschiefer, die Säuerlinge von Altheide, Hartau, Brodendorf und Gellenau aus Quadersandstein, von Reichenau aus Steinkohlenformation und von Weifskirch aus Uebergangskalk. Die in Böhmen kommen fast sämmtlich aus Granit, nämlich von Dörfles, Lappertsdorf, Duppa, Königswarth, Petersdorf und Radisfort, blofs die von Gieshübel aus Thonschiefer. Die Säuerlinge der Schweiz sind zu Pleif im Lugnitzer Thale und Willingenbad aus Thonschiefer, zu Schuols aus Granit; zahlreicher sind sie in Tyrol, nämlich zu Aubad, Brenz und Landis aus Thonschiefer, zu Axans, Egerbad, Oberperfufs und Irinsenbad aus Granit, Eimbrickerbad und Lotterbad aus Alpenkalk, Troitscherbad endlich aus Porphyr. In Krain kommt der Säuerling zu Billichgrätz aus Alpenkalk, in Steiermark der zu Perneg aus Thonschiefer, in Mähren der zu Pyrawand aus Granit, in Sachsen die zu Reiboldsgrün und Reinsdorf aus Thonschiefer, zu Raschau aus Gneis, zu Schandau aus Quadersandstein. Baiern hat einige Säuerlinge, hauptsächlich in seinen

nördlichern Provinzen, nämlich zu Condra, Köditz und Langenau in Thonschiefer, zu Neustadt bei Kissingen und Sinnberg im bunten Sandstein und zu Groſsschattengrün in Glimmerschiefer; reicher daran ist Würtemberg, wo sie insgesammt aus jüngern Felsarten entspringen, nämlich zu Bergfelden, Rothweil, Mittelstadt und Neustadt bei Waiblingen aus Keuper, zu Berlingen, Börstingen, Möſsingen, Mühringen, Obernau, Griesbach, Kleinengestein und Salzau aus Muschelkalk, und zu Jebenhausen aus Lias. Churhessen hat die Säuerlinge zu Kronberg, Friedberg, Ober- und Nieder-Roſsbach und Vilbel aus Thonschiefer, zu Visebeck und Volkmarsen aus buntem Sandstein. Einzelne endlich sind zu Fürstenlager in Hessen-Darmstadt aus Granit, zu Homburg aus Thonschiefer, zu Kleinern im Waldeck'schen aus Thonschiefer, zu Schieder in Lippe-Detmold aus Muschelkalk, zu Rabb bei Trient, zu Bartfeld, Schlangendorf und Ussek in Ungarn wahrscheinlich aus Urgebirge. Die reichsten Säuerlinge giebt es ohne Zweifel auf Island, denn sie sind von solcher Stärke, daſs sie berauschen[1], und dabei auſserordentlich reich, namentlich die am westlichen Theile der Insel, zu Raudamel, Staderstadt, Budum, Frodarheide, Olufswik, Hrisakot und Eydum[2].

Unter allen diesen zahlreichen Säuerlingen finde ich bloſs von folgenden wenigen die Temperaturen bestimmt: Friedberg in Hessen 12°,5; Niederroſsbach ebendaselbst 12°,5; Kleinengestein im Würtemberg'schen 11°,25; Neustadt bei Waiblingen ebendaselbst 13°,75; Oberperfuſs in Tyrol 12°,5; St. Amand in Belgien von 25°, welche insgesammt die oben erwähnte, durch L. von Buch aufgestellte Behauptung rechtfertigen, der Säuerling zu Uhlmühl bei Verden im Hannöver'schen soll jedoch nur 5° C. Wärme haben, was vermuthlich auf unrichtigen Messungen beruht.

3. Die Säuerlinge enthalten oft noch eine nicht unbedeutende Menge anderweitiger mineralischer Substanzen, die sich gern mit der Kohlensäure verbinden und deren Auflösung im Wasser diese Verbindung befördert. Insbesondere ist dieses der Fall beim Eisen, weswegen sie dann *Eisensäuerlinge*

1 Henderson Island T. II. p. 30.
2 Mackenzie Travels. 2d. ed. p. 391.

(Stahlwasser) genannt und wegen ihrer vermehrten Heilkraft höher geschätzt werden. Sie enthalten aufserdem neben dem Eisen noch Alkalien und alkalische Salze, letztere häufig auch ohne Eisen; die meisten derselben entspringen aus Urgebirgsarten und ihre Temperatur ist sehr ungleich, im Ganzen nicht hoch und zuweilen sogar unter der mittlern der Orte, wenn man anders die Messungen als zuverlässig ansehn darf[1].

In Preufsen sind blofse Eisensäuerlinge zu Rodenbach und Andernach, aus Thonschiefer entspringend, zu Alach bei Erfurt, von nur 5° Wärme, zu Kornhausen bei Halberstadt, aus Braunkohlen entspringend, zu Neustadt-Eberswalde und Potsdam, beide aus Diluvium, und die schwache Quelle bei Ruhla. Säuerlinge mit Salzen sind die Quellen zu Birresborn und Stockdreis, mit kohlensaurem Natron, erstere aus Thonschiefer, letztere aus Basalt; zu Brohl von 15° Wärme, natronhaltig, aus Grauwacke kommend; zu Dreisader und Geroldstein, beide mit kohlensaurem Natron, erstere aus Basalt, letztere aus Thonschiefer entspringend; zu Hulscheswagen und Tönnisstein, beide mit Natron und aus Thonschiefer kommend. Eisensäuerlinge mit kohlensaurem Natron sind zu Möllendorf im Mannsfeld'schen von 14°,25 Wärme, zu Malmedy und zu Godesberg, aus Thonschiefer; mit kohlensaurem Talk zu Geroldsgrün; mit Kalksalzen zu Lambscheid und Obermennig aus Thonschiefer, und zu Lauchstädt von 10° Temperatur aus buntem Sandstein; mit Kochsalz zu Schwelm von 9°,25 aus Thonschiefer; mit schwefelsaurem Talk zu Belberg bei Magdeburg; mit schwefelsaurem Kali und salzsaurem Natron zu Erfurt aus Keupersandstein von 13°,75 Temperatur. In Westphalen sind Eisensäuerlinge zu Brakel und Dryburg aus buntem Sandstein; zu Dankersen, Gripshofen und Tadenhausen aus jüngerem Flötzgebilde, und zu Godelsheim mit salzsaurem Natron. In Schlesien ist der schwache Eisensäuerling zu Charlottenbrunn und Hermannsbad bei Muscau, letztres mineralischen Schlamm absetzend; mit kohlensaurem Natron zu Cudowa von 9°,25 und zu Flinsberg von 20°, beide aus Granit entspringend; die Eisenquelle zu Altwasser kommt aus Steinkohlensandstein, enthält kohlensaures Natron, Kalk und

---

1 Die blofs eisenhaltigen oder Eisensalze führenden Quellen übergehe ich.

Talk und hat 6°,25 Wärme; natronhaltige Säuerlinge endlich sind zu Salzbrunn aus Thonschiefer und zu Reinerz aus Granit entspringend. Böhmen hat ausgezeichnete Säuerlinge, den natronhaltigen zu Liebwerda von 10° Wärme aus Granit; den Franzesbrunn zu Eger, reich an Natronsalzen von 11°,25 bis 12°,5 Temperatur aus Glimmerschiefer; den reichen Eisensäuerling zu Buchsäuerling aus Granit und den berühmten Josephsbrunnen zu Bilin, einen Eisensäuerling mit viel kohlensaurem Natron von 15° aus Gneis entspringend. In Sachsen giebt es nur unbedeutende Quellen dieser Art, die schwachen Eisenwasser zu Tharandt aus Porphyr und das Augustusbad von 9°,3 Wärme; die Säuerlinge mit Natron zu Berggieshübel aus Thonschiefer, zu Sohl aus Porphyr und zu Wiesenbad aus Gneis; die Eisensäuerlinge zu Bibra aus buntem Sandstein; zu Buschbad von 5° Wärme aus Grauwacke; zu Oberbrambach von 7°,5 aus Thonschiefer, und die Eisensäuerlinge mit Natronsalzen zu Elster von 7°,5, zu Liebenstein von 9°,25, zu Schönberg von 6°,75 und zu Unterbrambach von gleicher Wärme, sämmtlich aus Thonschiefer entspringend. Belgien hat viele Eisensäuerlinge, zu Blanchemont, Brue bei Stablo, Chevront, Geremont, Grosflemalle, Hurt, Huy, Pouchon, Stablo, Watrez und die berühmtesten zu Spaa, sämmtlich aus Thonschiefer entspringend.

Im nördlichen Deutschland giebt es noch einige ausgezeichnete Quellen dieser Art. Dahin gehört der Eisensäuerling zu Ottensen in Holstein von 10° aus Diluvium; das Alexisbad zu Anhalt-Bernburg, ein Eisenwasser mit schwefel- und salzsaurem Eisen von 7°,5 aus Grauwacke; der Eisensäuerling zu Köthen aus buntem Sandstein und der zu Helmstädt aus Lias; der Säuerling mit Kalksalzen zu Rehburg im Hannöver'schen, gleichfalls aus Lias entspringend; am berühmtesten unter allen ist aber der Eisensäuerling zu Pyrmont von 10° bis 18°,75 aus buntem Sandstein und der Säuerling mit Kalk- und Talksalzen zu Wildungen von 10°,5 aus Thonschiefer kommend, beide im Waldeck'schen. Hessen-Cassel hat Säuerlinge mit Kochsalz zu Hofgeismar aus buntem Sandstein; zu Schwallheim von 12°,5 aus Thonschiefer und zu Schwelheim von 10° Wärme; dann die Eisensäuerlinge zu Wilhelmsbad von 12°,5 aus Thonschiefer und zu Geismar von 11°,25 mit Kalk- und Talksalzen. In Würtemberg ist zu

Ueberlingen ein Säuerling mit Kochsalz von 15° aus Lias, und Eisensäuerlinge sind zu Okarben aus Thonschiefer und zu Göppingen mit kohlensaurem Talk von 10° Wärme aus Keuper entspringend. Ungleich berühmter sind die Nassau'schen Quellen, nämlich die natronhaltigen Säuerlinge zu Fachingen von 10°, zu Lindenholthausen und die Rheingauerquelle, sämmtlich aus Thonschiefer; der salzsaures und kohlensaures Natron haltige Säuerling zu Geilnau von 10°,5 aus Thonschiefer; der Eisensäuerling zu Schwalbach, der berühmte natronhaltige zu Selters und der mit salzsaurem und kohlensaurem Natron zu Dinkhold, sämmtlich aus Thonschiefer entspringend. Baden hat die Eisensäuerlinge zu Griesbach mit kohlensaurem Kali; zu Antogast mit kohlensaurem Natron und Kali, beide von 8°,75 Wärme und aus Granit kommend, und zu Petersthal mit Kalksalzen von 12°,5 aus gleicher Gebirgsart entspringend. In Baiern giebt es einen Säuerling mit Natronsalzen zu Hardeck, aber Eisensäuerlinge zu Hohenberg aus Granit, zu Steben und Wiesen aus Thonschiefer; mit Kalksalzen das Alexandersbad bei Sichersreuth aus Granit; mit kohlensaurem Kalk zu Hambach; zu Bocklet mit schwefelsaurem Natron aus buntem Sandstein und zu Brückenau mit kohlensaurem Natron und schwefelsaurem Talk aus gleicher Gebirgsart entspringend. Säuerlinge in der Schweiz sind zu Bernhardino und Peiden, beide mit schwefelsaurem Natron, ersterer aus Gneis, letzterer aus Granit entspringend; der natronhaltige zu Fideris von 7°,5 aus Thonschiefer; die mit Kalksalzen zu Losdorf von 10°, zu Limpach von 12°,5 und zu Engisstein von 13°,75, beide letztere aus Molasse entspringend; zu Lochbad mit schwefelsaurem und salzsaurem Natron, gleichfalls aus Molasse entspringend, von 11°,25 Wärme; der Eisensäuerling zu Blumenstein, auch aus Molasse, von 10°,5 und der Eisensäuerling mit kohlensaurem Natron zu Belvedere in Graubündten. Ein ausgezeichneter Eisensäuerling endlich mit vorwaltendem schwefelsaurem Kali, aus Gneis entspringend, von 5°,5 Wärme ist zu Rohitsch in Steiermark, und ein kochsalzhaltiger Säuerling von 12° Wärme in Ungarn zu Sulze bei Güssing; desgleichen zu Landek in Tyrol.

4. Der sogenannten *Kochsalzthermen* und der mineralischen Kochsalzquellen giebt es nicht viele, weil die reichhaltigern und an anderweitigen Salzen verhältnifsmäfsig ärmern zu den

Soolquellen gezählt werden. Inzwischen sind einige derselben sehr berühmt, z. B. die Kochsalztherme mit wenig Eisenoxyd zu Baden-Baden von 67° bis 75° aus Granit entspringend; Baden in der Schweiz, mit schwefelsaurem Kali und Natron von 40° bis 50° Wärme, aus Molasse kommend; die zu Vals oder St. Peter ebendaselbst aus Granit, von 27°; insbesondere aber die vielen Quellen in Wiesbaden, aus Thonschiefer kommend, von 48° bis 65° Wärme. Nicht eigentliche Kochsalzthermen, aber mineralische Kochsalzquellen sind ferner der Ragozzi und der Pandur zu Kissingen in Baiern, beide reich an Kohlensäure, aus buntem Sandstein entspringend; der Heilbrunn in Baiern, mit kohlensaurem Natron, aus Molasse; die kohlensäurehaltige Kochsalzquelle zu Kannstadt in Würtemberg von 12°,5 Temperatur ans Keuper; die Kochsalztherme zu Balaruc in Frankreich und die kochsalzhaltige Mineralquelle zu Niederbrunn bei Saarbrück von 18°,75 aus jüngerem Flötzgebirge.

5. Sehr gering ist die Zahl der *alaunhaltigen* Quellen, doch giebt es deren zu Bachem am Niederrhein, zu Bath und Crems.

6. *Natronhaltige* Quellen, die wegen ihres Einflusses auf die Haut mitunter auch Seifenwasser genannt werden, sind unter andern die unbedeutenden zu Costen, Turmitz und Cummern in Böhmen und die sehr berühmte Therme zu Teplitz ebendaselbst von 47°,5 Wärme, aus Porphyr entspringend. Kohlensaures Natron haltige Quellen sind die sehr bekannten zu Warmbrunn in Schlesien von 37°,5 Wärme, aus Granit entspringend, und die im Nassau'schen zu Ems von 22°,5; 42°,5 und 50° Temperatur; zu Schlangenbad von 27°,5 Wärme und der berühmte, salzsaures und kohlensaures Natron haltige Säuerling zu Geilnau von 10°,5 Wärme, sämmtlich aus Thonschiefer kommend.

7. Die Zahl der *Bitterwasser* ist gleichfalls nicht grofs. Es gehören dahin die berühmten zu Seidlitz und Seidschütz in Böhmen, beide aus Gneis kommend; desgleichen zu Pülna und Steinwasser, ebendaselbst, erstere mit Glaubersalz, letztere mit salzsaurem Talk, und die berühmte zu Ebsham in Surrey.

8. *Glaubersalzquellen* sind häufiger. Sie finden sich zu Brüx in Böhmen, zu Vippach-Edelhausen in Sachsen mit kohlensaurem Natron, von 5° Wärme; zu Rippoldsau in Ba-

den, aus Gneis kommend; zu Roisdorf am Niederrhein, mit kohlensaurem Natron, aus Braunkohlenformation entspringend. Dahin gehören ferner die berühmten Glaubersalzthermen zu Carlsbad mit kohlensaurem Natron von 34° bis 75° aus Granit; zu Plombières in Frankreich mit kohlensaurem Natron von 50° bis 60° aus gleicher Felsart entspringend; zu St. Vincent in Piemont gleichfalls mit kohlensaurem Natron, aus Talkschiefer, und die beiden am Niederrhein zu Kautenbach und Bertrich, erstere von 27°,5 aus Thonschiefer, letztere mit Kalksalzen aus Basalt entspringend und von 32°,5 Wärme.

9. Die *Schwefelquellen* gehören zu den wichtigsten Heilmitteln und sind in grofser Zahl vorhanden, hauptsächlich in der Schweiz. Mit Uebergehung der vielen unbedeutenden sind dort die zu Alveneu, 3120 Fufs über der Meeresfläche; die zu Egglisau und Waldeck, aus Molasse entspringend; zu Yverdun aus gleicher Felsart von 23°,75 Wärme; zu Wichlerbad aus Alpenkalk; zu Bormio oder Worms von 40° Wärme; die kalkhaltigen zu Ermetswyl, Gelterkinden, Gempelen, Laemmli, Leuk, Henniez und Langenthal, letztere beide aus Molasse entspringend; die gleichfalls kalkhaltige zu Bagnes bei Martiny von 27°,5 aus Alpenkalk; die mit salzsaurem Natron zu Carmiswyl, Bellerive, Bonn aus Molasse kommend und Bex aus Thonschiefer, 10° bis 11°,5 warm; die mit salzsauren und schwefelsauren Salzen zu Moosbad, und zu Schinznacht mit schwefelsaurem Natron und Kali von 31° bis 34° Wärme, beide aus Molasse entspringend. Baiern hat keine sehr berühmte, die unbedeutenden zu Obertiefenbach und Sülzerbrunn, letztere aus Quadersandstein; die zu Aubad; zu Abach aus Quadersandstein; zu Heiligenkreutz aus Kreide, und zu Kondra aus jüngerem Flötzgebirge; die kalkhaltigen zu Gocking und Rosenheim; mit Kalisalzen zu Eschelloh aus Alpenkalk; die bittersalzhaltigen zu Grofsalbertshofen und Kreuth; die mit Natron zu Partenkirchen, beide letztere aus Alpenkalk entspringend; die zu Wipfeld mit Kalksalzen, von 13°,75 Wärme, aus buntem Sandstein; die Kalksalze und Talksalze haltige zu Stinkergraben und die berühmte mit schwefelsaurem Talk, zu Schweighofen aus Quadersandstein entspringend. Die im Würtemberg'schen entspringen insgesammt aus Lias, die zu Bahlingen, Durwangen, Reutlingen, Zaysenhausen, Boll und Berg bei Göppingen, letztere mit salz-

saurem Natron. Piemont hat bedeutend heifse Schwefelthermen zu Viray aus Kalkstein; zu Brida von 36° aus Talkschiefer und zu Salins von 37°,5 aus Kalk entspringend; ebenso Savoyen zu Didier am Montblanc in 3750 Höhe von 34° bis 44° aus Granit, zu Gervais von 43°,75 aus Talkschiefer und zu Aix les Bains von 56° aus Jurakalk. In Frankreich sind die berühmten zu Bagnères de Luchon und Barèges, beide in den Pyrenäen, die zu Bagnoles von 45°, zu Lamotte im Dep. Isère von 80°, zu Digne im Dep. des basses Alpes von 50° aus Granit und zu Enghien mit Kalksalzen aus Kreide entspringend. Nassau, sonst so reich an Mineralquellen, hat nur die unbedeutenden Schwefelquellen zu Sironabad mit Kochsalz und zu Weilburg mit Natron. In Preufsen sind die minder bedeutenden zu Tennstedt und Langensalza im Sächsischen, beide mit Kalksalzen und aus Muschelkalk entspringend; zu Morsleben bei Magdeburg aus Lias; zu Kressowitze in Posen aus jüngerem Flötzgebirge; zu Viestel in Westphalen, mit salzsaurem Natron; zu Burtscheid am Niederrhein von 44° bis 58° und die berühmteste unter allen zu Aachen mit salzsaurem Natron von 46° bis 57° Wärme, beide aus Thonschiefer. In Schlesien entspringen die zu Czarkok, Ribnik und Sophienthal aus jüngerem Flötzgebirge, die mit schwefelsaurem Natron und über 30° warme zu Landek aus Gneis. Im Hannöver'schen sind unbedeutende Schwefelquellen zu Bentheim mit schwefelsaurem Kalk und Natron; zu Winslar bei Rehburg und zu Nordheim, beide mit Kalksalzen, letztere 10° bis 11°,5 warm, und die stärkere zu Limmer mit salzsaurem Natron, alle aus Lias entspringend. In Hessen ist die einzige, aber sehr gehaltreiche und berühmte, Schwefelquelle zu Nenndorf; in Bückeburg die ihr gleichstehende zu Eilsen, beide aus Lias entspringend, sehr reich und vielen mineralischen Schlamm absetzend, denen sich im nördlichen Deutschland noch die minder gehaltreichen zu Meinberg im Lippe'schen, nebst einem kalkhaltigen Eisensäuerlinge aus Keuper entspringend, zu Doberan in Meklenburg[1], aus Diluvium, und die etwas Gyps haltige zu Berka bei Weimar aus Muschelkalk kommende anreihen lassen. Endlich hat Oesterreich eine

1 Hermbstädt Beschreibung und physik. chem. Zergliederung etc. Berl. 1823. 8.

minder bedeutende Schwefelquelle zu Altenburg und die berühmte zu Baden bei Wien mit salzsaurem Natron von 33°,75 Wärme, aus Kalktuff entspringend; Baden eine neuerdings in Aufnahme gekommene schwache Schwefelquelle zu Langenbrücken; Tyrol zu Feldkirch; Gallitzien zu Lubin bei Lemberg von 10°,5 Temperatur, sonstige minder bekannte, die noch in grofsen Zahl vorhanden seyn mögen, nicht zu erwähnen.

10. *Salpeterhaltige* Quellen[1] sind selten, doch giebt es deren viele in Ungarn, und zwar so reichhaltige, dafs sie der Vegetation nachtheilig werden, mehrere sind in Spanien, einige in Italien, namentlich bei Molsetta, in Pegu, auf Ceylon und in Brasilien.

11. *Kupferhaltige* oder Cementwasser enthaltende entspringen aus Bergen mit Kupfervitriol. Solche giebt es zu Neusohl und Schmolenitz in Ungarn; zu Altenberg im Erzgebirge; Fahlun in Schweden, in der englischen Grafschaft Wicklow und beim Flusse Arklow in Irland[2]; bei Lancaster in Pensilvanien und an andern Orten.

12. *Inkrustirende* Quellen oder solche, aus denen eine bedeutende Menge kieselhaltigen Kalksinters niederfällt, giebt es viele. Dahin gehört Carlsbad, dessen Wasser schon binnen 24 Stunden eine beträchtliche Menge Kalksinter absetzt[3]. Die Quelle bei Tours liefert einen alabasterartigen Sinterstein; die Teverone bei Tivoli giebt sehr schöne, weifse, gewöhnliche Gypsabdrücke an Feinheit und Politur noch übertreffende, Figuren, wenn man Schwefelformen mit Abdrücken einige Zeit hineinhängt. Aehnliche Quellen sind bei Abano im Gebiete von Padua; die Bäder von St. Filipe, welche gleichfalls schöne Figuren geben; eine Quelle bei Lagni im Neapolitanischen und viele andere[4]. Merkwürdig in dieser Hinsicht ist die Quelle von Guancavelica, 30 Meilen von Lima, und noch mehr die neben dem See Urmia in Persien, aus welcher Blasen aufsteigen, deren Hüllen zu einer kalkartigen Rinde erhärten,

1 Ueber diese und solche Quellen, welche Natron, Borax, Flufssäure, Auripigment u. s. w. enthalten, s. Keferstein Zeitung für Geognosie u. s. w. Jahrg. 1828. St. VI. S. 21 ff.

2 Phil. Trans. XLVII. 500. XLVIII. 94. 181. XLIX. 648.

3 Ueberlacker's systematische Beschreibung des Carlsbader Sinters. Erlangen 1780. fol.

4 Poli Elementi di Fisica. T. IV. p. 115.

woraus beim ruhigen Stehen Marmor gebildet wird, welcher in grofsen Platten gehauen und geschliffen blofs zum Gebrauche der Könige bestimmt ist[1]. Die Masse der durch die Quellen zu Tage geförderten Substanzen ist so grofs, dafs sie zuweilen ganze Hügel bildet, wie namentlich durch die zu St. Filipe im Toscanischen und nach der Aussage mehrerer Reisenden, namentlich Menge's, häufig auf Island geschehn seyn soll[2], was bei der bekannten grofsen inkrustirenden Kraft der dortigen Quellen selbst wahrscheinlich wird.

13. Die *versteinernden* Quellen, welche vegetabilische Körper mit Kieselerde erfüllen, zuweilen sie zerstören und Kieselsinter an ihre Stelle setzen, haben schon in den frühesten Zeiten die Aufmerksamkeit erregt. Musschenbroek[3] berichtet, dafs bereits Vitruv, Strabo, Plinius und Caesius solche kannten; ferner erwähnt er einen versteinernden Flufs bei Palimbang auf Sumatra, einen andern in Chili, welcher hineingeworfenes Holz so versteinert, dafs es am Stahl Feuer giebt. In Peru, nördlich von Quito, in der Bucharei und auf Island giebt es solche, ja sogar einer von den Pfählen der Donaubrücke, welche die Römer unter Trajan im Jahre 104 erbauten, wurde bis zu 0,25 Zoll tief versteinert gefunden, als ihn Franz der Erste 1760 herausnehmen liefs[4]. Merkwürdig hierbei ist, dafs die Kieselerde in solchen Wassern nicht mechanisch fortgerissen wird, sondern völlig aufgelöst vorhanden ist, wie Vauquelin[5] und Klaproth durch ihre Versuche gefunden haben, da sie bei mehrmaligem Filtriren nicht zurückbleibt[6].

14. Unter die interessanten Quellen gehören die erst neuerdings beachteten, deren Wasser eine geringere oder gröfsere Menge von *Schwefelsäure* enthält. Die berühmteste unter diesen ist diejenige, welche von dem jetzt ruhenden

---

1 Aus Ker Porter's und Morier's Reisen mitgeth. durch Kämtz in Schweigg. Journ. LIII. 475.

2 Edinb. Phil. Journ. N. IV. p. 307.

3 Introduct. §. 1430.

4 Kirwan Geol. Essays. Ess. IV. p. 139.;

5 Ann. de Chim. T. XXXIX. *Parfaitement dissoute*, heifst es daselbst.

6 D'Aubuisson Traité de Geog. T. I. p. 57.

Vulcane Idienne auf Java herabfliefst [1]; auch soll es einige solche auf Island geben. Sie kommen allezeit von Vulcanen und ihr Ursprung läfst sich leicht daraus erklären, dafs die aus diesen aufsteigenden Schwefeldämpfe durch ihren Zutritt zum Wasser in diese Säure verwandelt werden. Der Rio Vinagre am Vulcan Puraze enthält gleichfalls nach v. Humboldt [2] eine nicht unbeträchtliche Menge Schwefelsäure.

15. Den Wasserquellen nahe verwandt, oft aber eine eigenthümliche Classe bildend, sind die *Quellen von Naphtha* und *Erdöl*, denen sich das Emporkommen des *Bergtheers* und des *Asphaltes* nebst einigen nahe verwandten Stoffen anreihen läfst. Die feinste Substanz ist die helle, wohlriechende, leicht und mit vielem Rufs verbrennende Naphtha, welche blofs bei der Insel Abnheron im caspischen Meere vorzukommen scheint. Inzwischen ist diejenige Naphtha, welche die im Jahre 1803 zu Amiana in Parma bei Josnovo und Varese aufgefundene Quelle in grofser Menge liefert, jener feinen völlig gleich oder nur wenig davon verschieden. Sie ist sehr klar, von weingelber Farbe, von starkem, durchdringendem Geruche, jedoch weniger empyrheumatisch als der von gemeinem schwarzem Bergöl, von 0,83 spec. Gewichte, verflüchtigt sich von Papier, ohne einen Fleck zu hinterlassen, läfst sich ohne Rückstand destilliren, löst Bernstein und Kopal vollkommen auf, womit sie dann trocknende Firnisse giebt, brennt mit einer hellen Flamme, aber vielem Rauche, und wird mit Oel versetzt zur Strafsenbeleuchtung verwandt [3]. Sehr weit verbreitet und häufig in allen Welttheilen vorkommend ist dagegen das dünnflüssige, an der Luft sich allmälig erhärtende, stark riechende, schwarzbraune, mit vielem Rufs verbrennende Bergöl oder Bergtheer (*petroleum*). Dasselbe quillt meistens mit Wasser, auf welchem es dann schwimmt, zuweilen ohne dasselbe, kommt aus jüngeren Felsarten oder aufgeschwemmtem Lande, meistens in der Nähe von Salzquellen und bedeutenden Braunkohlenlagern, auf deren Anwesenheit dasselbe hindeutet, vorzugsweise aber in vulcanischen Gegenden. Man

---

1 Phil. Mag. XLII. 182. G. LXXIII. 156.
2 Journ. de Phys. LXII. 61.
3 Ann. de Chim. N. 134. p. 171. Daraus in Französ. Ann. von Pfaff u. Friedländer. St. VIII. S. 99.

benutzt das Erdöl und Erdpech zur Schmiere, für sich oder mit Erde verbunden zum Brennen und zu mancherlei technischen Zwecken.

In Europa giebt es solcher Quellen viele, namentlich zu Gretenbergen, Hänigsen, Edemissen und Wietzen im Hannöver'schen; zu Tegernsee in Baiern; das Lambertsloch bei Strafsburg; der Bechelbrunn in den Vogesen; die von Begrède bei Anson in Languedoc; zu Gabian bei Beziers; zu Porentroy, zwischen Montpellier und Beniers; zu Lobsan in der Auvergne, sehr reich, u. a. a. O.; bei Neufchatel; mehrere in den Appenninen; der Miano in Parma; Zibio bei Modena; in den Schwefelgruben von Perticara und Urbino; bei Civita nuova; südlich von Loretto im Grunde des Meers; bei Salsa de Sassucolo; am Vesuv; auf Zante unweit Chierri; bei Girgenti und im Val di Noto auf Sicilien; am Grattenbergl unweit Häring in Tyrol; bei Pollonia in Albanien, eine im Alterthume bereits bekannte Quelle; desgleichen auf Zante; in England einige in den Kohlenminen; aufserdem zu Ormskirk in Lancashire; Coal Port unfern Coalbrookdale; der Catharinenbrunn bei Edinburg ist berühmt, auch findet man eine solche Quelle auf der Orkney-Insel Pomona. In Ungarn[1] am Fufse der Karpathen giebt es eine grofse Menge Erdölquellen, unter andern zu Slobada, Kozmacz, Jablonow, Kalusch, Boryslow, Nahuiowice, Popiel und Kalowapienie. Auch in Gallizien[2] ist es häufig vorhanden und zwar eine schlechtere Sorte, *Roppa* genannt, die als Wagenschmiere dient, und eine bessere, *Kipieczka*, die zur Lederbereitung verwandt wird. Die Hauptquelle zu Truscawec in der Cameralschaft Drohobycz quillt armsdick periodisch mit einer grofsen Menge von Kohlenwasserstoffgas hervor. Beim Dorfe Herschan im Siebenbürgisch-Moldau'schen Passe Oytosch sind starke Erdölquellen. In Rufsland findet man viele und reiche Quellen an den Ufern des Igar, des Tereck, der Wolga, im Gebirge Irnek an der Kirgisischen Grenze, in Taurien mit Gasvulcanen verbunden u. a. a. O.

---

1 Schindler Beschreibung der Karpathen. S. 31. J. E. v. Fichtel mineralogische Bemerkungen von den Karpathen. Wien 1791. 2 Th. 8.

2 Jahrb. d. polyt. Instituts. *II.* 335.

Am berühmtesten waren von jeher die Naphthaquellen in Asien. Einige derselben ergiefsen sich in den Tigris, und zwar so reichlich, dafs die Schiffer das obenschwimmende Erdöl anzünden und einen feurigen Flufs bilden. Im Golf von Bengalen wird das Erdöl aus 560 Brunnen gewonnen; in Farghana und der Umgegend ist es in Menge vorhanden, desgleichen am oberen Gihon bei Balk, von wo aus dasselbe sich neben den Salzquellen bis zum caspischen Meere hin verschiedentlich zeigt. Als Alexander der Grosse von Balk aus gegen die Sogdianer marschirte und am Flusse Oxus sein Lager aufschlug, benutzte er die Anwesenheit dieser Quellen als günstige Vorbedeutung, denn es sollte eine Wasserquelle und eine Erdölquelle plötzlich neben seinem Zelte entsprungen seyn, welches Ereignifs sogleich durch Opfer gefeiert wurde. Bei Baku unfern des caspischen Meers und der Insel Abnheron oder Abscheron, in der Nähe der gleichfalls berühmten stets brennenden Feuer ist die Menge des Erdöls so grofs, dafs es sogar die sämmtlichen Wasserquellen mehr oder minder verunreinigt. Ungefähr 2000 Schritte von jenen heiligen Feuern sah Kämpfer zwei Naphthabrunnen, und einen dritten, welcher nicht mehr quoll; denn ungeachtet der unermefslichen Ergiebigkeit jener Gegenden scheint die Menge des quellenden Oels doch abzunehmen, indem nach Kämpfer aus 40, nach Bruce aus 30 und nach Reineggs nur noch aus 25 Brunnen geschöpft wurde. Das Abschöpfen geschieht bei Tage und bei Nacht wird der Abgang wieder ersetzt. Die Quellen der schwarzen Naphtha (der Ertrag der weifsen ist nur sehr gering) gaben früher täglich 200 Maulthierlasten. Als die Russen im Jahr 1722 in den Besitz jener Gegend kamen, betrug die Pacht jährlich 50,000 Rubel. Man schöpft aus den gröfsern Brunnen täglich 700 ℔, aus den kleinern 50 bis 60 ℔. Gegenwärtig ist die Benutzung derselben ein Regale des Fürsten von Baku, welcher 15 Cisternen angelegt hat, woraus die Naphtha meistens nach Sihan versendet wird, um dort beim Seidenbau als Brennmaterial zu dienen. Da sich das Erdöl über Wasser leicht ausbreitet und dann entzünden läfst, so wird es zur Belustigung von den Einwohnern oft auf das Meer zwischen den Inseln an der Küste des caspischen Meers gegossen und angezündet, worauf die Wellen die Flamme auslöschen, die Oberfläche aber zu brennen

scheint. Die Perser gebrauchen es als Brennmaterial und zu Firnissen, die Russen häufig als Heilmittel gegen Gicht und Rheumatismus. In den frühern Zeiten fand man neben der Naphtha einen jetzt nicht mehr vorhandenen gelben Stein, welcher zerschnitten und in den Bädern als Brennmaterial benutzt wurde, es sey denn dafs man darunter die mit Naphtha zusammengebackenen Thonkugeln versteht, welche auch noch gegenwärtig zum Heizen dienen, da man in Baku kein anderes Brennmaterial als Bergöl und Erdpech anwendet[1].

Mehrere hundert gegrabene Brunnen, woraus eine grofse Menge grünlich schwarzes, auch hellgrünes Petroleum geschöpft wird, und in denen man häufig Stücke schwefelkieshaltiger Steinkohlen über und unter dem Steinöl findet, sind im Königreiche Burmha, einige Stunden von der Stadt Reinang-Hong (unter 20° 26′ N. B. und 94° 46′ östl. Länge von Greenwich). Die Brunnen sind tief, die gewonnene Flüssigkeit macht einen bedeutenden Handelsartikel aus und wird theils zum Brennen, theils als Material zum Firnifs benutzt[2]. Nach Captain Hiram Cox[3] beträgt der aufgezeichnete Ertrag von den dortigen 520 Brunnen jährlich 92781 Tonnen und deren Werth nach Abzug von 5 Procent 170290 Lstl.

America und mehrere Inseln bieten gleichfalls Naphthaquellen in Menge dar, namentlich befinden sich auf Barbados sehr reiche und berühmte. Nach v. Humboldt[4] ist ein Schlund mit einer Erdölquelle in der Bucht von Mayaro an der Ostküste von Trinidad; ebenso findet sich dieses Mineral in der Mine bei Chapopote, welche im März und Juni oft heftige Detonationen hören läfst und in deren Nähe auf der Küste sich der Asphalt-See (*Laguna de Brea*) befindet[5]. Diese Gegend hat also Aehnlichkeit mit der des todten Meers. Eine Quelle ist bei Buen-Pastor unweit des Rio Areo; eine andere, im Golf Cariaco aus Glimmerschiefer entspringend; nordwärts von den Caracas-Inseln sind gleichfalls solche, de-

1 Journ. de Pharmac. 1820. T. VI. p. 209. 1822. Mai. p. 235.
2 Asiatic Researches T. VI. Bibl. Brit. XVI. p. 376.
3 Edinb. Phil. Journ. N. IX. p. 27.
4 Reisen. D. Ueb. T. III. p. 46.
5 Phil. Trans. LXXIX. p. 65. Trans. of The Linn. Soc. Daraus in Bibl. Brit. XXXVIII. p. 219.

ren Geruch den Schiffern die Anwesenheit der oft nur eine Klafter betragenden Untiefen anzeigt. Unweit Mena, am Gestade des Maracaibo-Sees, befindet sich eine Asphaltquelle, woraus zugleich Gas strömt, welches sich zuweilen entzündet und sein Licht weithin verbreitet. Unweit der Stadt Mexico endlich entspringen mehrere Erdölquellen aus Porphyr[1].

VII. Ursprung der Mineralquellen.

Die Aufsuchung der Ursachen, welche den Mineralwassern ihre Bestandtheile und den Thermen ihre Wärme geben, ist ein Gegenstand vom höchsten Interesse, und es liegen in der eben mitgetheilten Uebersicht Thatsachen genug vor, um diese Untersuchung daran zu knüpfen.

Nach Aristoteles, Plinius, Galenus und den spätern Physikern bis auf Musschenbroek[2] herab, desgleichen nach der Ansicht der neuern Chemiker und Naturforscher, erhalten die Mineralquellen ihre Bestandtheile dadurch, dafs die aus den Hydrometeoren entstehenden Quellen tiefer in die verschiednen Erdschichten eindringen, die darin vorhandnen Substanzen auflösen und mit ihnen je nach dem Reichthume der Orte mehr oder weniger gesättigt wieder hervorbrechen. In Beziehung auf die Salzquellen, bei denen man diese Erklärung jüngstens gleichfalls wankend machen wollte[3], ist sie über jeden Einwurf factisch dadurch entschieden, dafs man die Salzlager, aus denen die Soolquellen entspringen, durch Bohrversuche aufgefunden hat. Namentlich ist diefs geschehn bei den reichen Quellen in Lothringen, zwischen denen Matthieu de Dombasle ein Bohrloch herabsenkte und auf ein sehr ausgedehntes Salzlager stiefs; auf ähnliche Weise hat man in und bei Wimpfen, desgleichen am östlichen Fufse des Jura das Salzlager aufgefunden, aus welchem die dortigen Soolquellen gespeist werden; zu Droitwich unweit Worchester bohrte man in der Nähe der Salzquellen, fand 35 bis 45

1 v. Humboldt geognostischer Versuch. S. 180. Ueber den Zusammenhang dieser Quellen mit den Vulcanen s. *Vulcane*. Ueber die dem Erdöl verwandten Mineralien s. *Erde*. Bd. III. S. 1112.

2 Introduct. §. 1430 ff.

3 Keferstein Deutschland geognostisch-geologisch dargestellt u. s. w. Th. III. S. 247.

Fufs tief Kiessand, dann 105 F. Gyps und noch 22 Fufs tiefer gesättigte Soole in einem Salzlager von unbestimmter Mächtigkeit[1]. In Folge dieser und anderer ähnlicher Erfahrungen hat man seitdem an vielen Orten, wo aus geognostischen Gründen Salzlager zu erwarten waren, mit glücklichem Erfolge gebohrt und dadurch den verschiedensten Gegenden das unentbehrliche Salz verschafft.

Die Gebirge, aus denen die Mineralquellen entspringen, enthalten im Ganzen diejenigen Bestandtheile, die in den Wassern gefunden werden, wie namentlich zu Langenbrücken erwiesen ist, auch entdeckte unter andern Fournet[2], dafs in manchen Gruben der Auvergne eine Menge kohlensauren Gases emporsteigt, welches zugleich den Quellen zu Barbecot und Boklet den Gehalt an diesem Gas mittheilt. Insbesondere hat G. Bischof[3] die Richtigkeit dieser Hypothese durch die gewichtigsten Argumente unterstützt, F. A. A. Struve[4] aber, dem das Publicum für seine höchst genaue künstliche Darstellung der verschiedensten Mineralwasser in grofsartigen Anlagen zu Dresden, Berlin und Brighton vielen Dank schuldig ist, hat durch Versuche dargethan, dafs sich die Mineralwasser einiger Orte durch Extraction der daselbst vorhandenen Gebirgsarten darstellen lassen. Im Allgemeinen geht die Richtigkeit dieser Ansicht schon daraus hervor, dafs auch die zum Unterschiede sogenannten süfsen Quellen diejenigen Bestandtheile aufnehmen, die den Umgegenden ihres Ursprungs eigenthümlich zugehören. Insbesondere zeigte Berzelius[5] hauptsächlich aus der Uebereinstimmung der geognostischen Verhältnisse der Gegend bei Carlsbad und am Mont d'Ore und

---

1 G. XLIII. 334. LXIV. 155.

2 Kastner Archiv. III. S. 169.

3 Die vulcanischen Mineralquellen Deutschlands und Frankreichs. Bonn 1826. 8. Derselbe in Schweigg. N. Jahrb. d. Chem. u. Physik. IV. 377. VI. 125, 225 u. s. w.

4 Die künstlichen Mineralwässer. Dresden u. Leipzig. 1 Hft. 1825. 11 Hft. 1826. Auch Breislak condensirte die aus einer Solfatara aufsteigenden Dämpfe und erhielt ein Mineralwasser von der Art der in der Nähe entspringenden. Dessen Reisen durch Campanien. 1802. Th. II. S. 56.

5 Unters. d. Mineralwasser zu Carlsbad u. s. w. in Stockholmer Denkschr. 1822. Daraus in G. LXXIV. 113 ff.

aus der Aehnlichkeit der an beiden Orten entspringenden Quellen sowohl unter sich als auch mit dem Reikum auf Island, dafs die noch fortdauernde innere Thätigkeit erloschener Vulcane an den beiden ersten Orten die Eigenthümlichkeiten der dortigen Mineralwasser auf gleiche Art bedingen könne, als dieses erweislich durch noch jetzt brennende auf Island geschehe; später ist dieses Nämliche aber durch BISCHOF weit ausführlicher und durch specielle Beibringung einzelner Thatsachen bei einer grofsen Zahl von Mineralquellen geschehn. Man mufs hiernach annehmen, dafs die eindringenden Wasser der Hydrometeore bei ihrem Herabsinken in die Gebirgsschichten bis zu gröfsern Tiefen durch den Einflufs der zwar erloschenen, im Innern aber noch thätigen, Vulcane erwärmt und mit den theils in Menge vorhandenen, theils durch die fortdauernde vulcanische Action stets noch neu ausgeschiedenen Substanzen geschwängert, alsdann aber durch den hydrostatischen Druck des nachdringenden Wassers an die Oberfläche emporgetrieben werden. Hiermit genau übereinstimmend ist das Resultat der Untersuchungen von BOUSSINGAULT und RIVERO[1], welche bei ihrer Analyse der Thermalquellen in Südamerica fanden, dafs ihre mineralischen Bestandtheile und die enthaltenen Gasarten ganz dieselben sind, welche man in den benachbarten Vulcanen findet, von denen sie daher sowohl ihre Wärme als ihre eigenthümliche Beschaffenheit erhalten.

Diese klare und einfache Erklärung befriedigte diejenigen nicht, die es vergafsen, dafs Einfachheit gerade das beste Kennzeichen der Richtigkeit ist, und sie nahmen daher zu höhern Kräften ihre Zuflucht, die weder klar gedacht noch als wirklich existirend nachgewiesen werden können. Insbesondere fand man die ungeheure Menge der Mineralsubstanzen unerklärlich, welche seit so vielen Jahrhunderten in stets gleichbleibender Quantität zugleich mit dem Quellwasser zu Tage gefördert werden. Eine oberflächliche Uebersicht dieser Gröfsen führt allerdings zu überraschenden Resultaten und kann in der That irre leiten, wenn man die Mühe scheut, die Sache selbst durch Zurückführung auf bestimmte Messungen genauer vorstellbar zu machen. Rücksichtlich der Salzquellen hat indefs die in neuerer Zeit geschehene Auffindung

1 Ann. de Chim. et Phys. LII, 181.

mancher vorher unbekannter Salzlager hinlänglich bewiesen, dafs alles das, was die Soolquellen in Zeiträumen von Jahrtausenden liefern, allezeit nur einen kleinen Theil des vorhandenen Vorraths ausmacht[1], wie man unlängst aus der unermefslichen Menge von Steinkohlen schliefsen konnte, welche bei der grenzenlosen Verschwendung derselben in England dennoch für eine unabsehbare Reihe von Jahren ausreichen werden. Insbesondere aber fufste man auf die enormen Quantitäten von Mineralien, welche manche Thermen, namentlich die Carlsbader, jährlich liefern. Nach ältern Messungen von Becher giebt Klaproth[2] den jährlichen Ertrag des Sprudels zu 746884 ℔ Natron, 1132932 ℔ Glaubersalz, 238209 ℔ Kochsalz, 86020 ℔ Kalkerde, 17369 ℔ Kieselerde, 1240 ℔ Eisenocher und 99539 Kub. Fufs Kohlensäure an, und dennoch kennt man diese Quelle sicher bereits seit dem Jahre 1347. Obendrein aber hat Gilbert[3] aus neuern Messungen und durch Berichtigung der angenommenen Mafse bewiesen, dafs diese Angabe unrichtig und der jährliche Ertrag wohl zwanzigmal gröfser ist, wonach allein 130000 Centn. Natron und gegen 200000 Ct. Glaubersalz aus den sämmtlichen Sprudelöffnungen emporkommen. Wenn man aber auch jene obigen Messungen um das Zwanzigfache vermehrt, so giebt dieses zwar, das specifische Gewicht der genannten Substanzen im Mittel zu 1,5 gegen Wasser als Einheit angenommen, die anscheinend grofse Masse von jährlich 423362 par. K. Fufs, allein dieses beträgt nicht mehr als einen Kubikraum von 145,5 Fufs Seite und 20 Fufs Höhe; es würden aber 54421 Jahre erforderlich seyn, um einen Raum von einer einzigen Quadratmeile Fläche und 40 Fufs Höhe zu liefern, welches gegen den Kubik-Inhalt der Berge, aus denen jene Mineralquellen fliefsen, nur eine unbedeutende Gröfse ist[4]. Man sieht hieraus, dafs genaue Berechnungen die Hypothese vielmehr unterstützen als sie widerlegen.

---

1 Nach Benzenberg ist das Salzlager unter Wimpfen bei einer Quadratmeile Flächeninhalt 88 Fufs mächtig und liefert für 4 Millionen Familien 16000 Jahre lang hinlänglich Salz.

2 Beiträge Th. I. S. 322.

3 G. LXXIV. 199.

4 Eine ähnliche Berechnung giebt L. von Buch im Bergmännischen Journal. Freib. 1792. S. 383 ff.

Es ist bereits im ersten Abschnitte erwähnt worden, dafs Keferstein[1] den Ursprung der Quellen aus einem Athmungsprocesse ableitet, indem er der Erde ein animalisches oder vegetabilisches Leben beilegt und das quellende Wasser als ein Product organischer Thätigkeit betrachtet. Gleichzeitig hiermit und auf gleiche Weise sollen dann auch alle in den Quellen befindliche Mineralien erzeugt werden, wobei die Vertheidiger dieser Hypothese die Art einer solchen Erzeugung keineswegs aus den vorhandenen Bedingungen ableiten, sondern blofs das präsumirte Leben durch häufige Wiederholung allgemeiner Analogieen darzuthun sich bemühn, zum Beweise der Entstehung jener Mineralkörper aber sich auf die bekannte Erzeugung des Salpeters berufen, gleichsam als ob diese letztere ein organischer und nicht vielmehr ein rein unorganisch chemischer Procefs wäre, indem zwar organische, aber der Lebensthätigkeit längst beraubte und bereits im Zustande der Zersetzung begriffene stickstoffhaltige und mit den Salzbasen versehene Substanzen der Luft ausgesetzt werden, um durch Anziehung des Sauerstoffs der Atmosphäre mit Salpetersäure geschwängert zu werden. Hierbei geschieht also nichts weiter, als dafs durch einen rein chemischen Procefs aus dem bereits vorhandenen Stickstoffe und dem angezogenen Sauerstoffe Salpetersäure gebildet wird, ohne dafs dabei sich die mindeste Spur der Erzeugung einer nicht bereits in grofser Menge vorhandenen Substanz zeigt. Wie aber die überwiegende Menge der in der Luft überall fehlenden oder nur in unmerklichen Quantitäten mechanisch fortgerissenen festen Bestandtheile der Mineralquellen aus ihr entstehn könnte, darüber giebt das gewählte analoge Beispiel nicht die mindeste Auskunft, die ganze Hypothese ist somit überall nur aufgestellt, aber keineswegs durch Beweise begründet, und verdient sonach keine Widerlegung.

Nennt man die eben erwähnte Hypothese die *organisch dynamische,* so kann eine andere die *elektro-galvanische* genannt werden. Sie verdankt ihren Ursprung gleichfalls dem Streben nach sogenannten höhern Ansichten, welche man in der Annahme von Thätigkeiten zu finden wähnt, die einer

---

1 Deutschland geognostisch-geologisch dargestellt u. s. w. Weimar 1827. Th. V. S. 1 ff.

durchaus klaren und ins Einzelne eingehenden Einsicht ermangeln. Steffens[1] darf als derjenige Gelehrte genannt werden, welcher dieselbe am bestimmtesten und entschiedensten aussprach, wenn gleich andere schon früher auf die in der Natur im Grofsen vorkommenden galvanischen Wirkungen hindeuteten. Um den vermeintlichen Schwierigkeiten zu entgehn, welche der gangbaren *physisch-chemischen* Auflösungstheorie wegen der übergrofsen Menge der in den Mineralquellen enthaltenen Substanzen entgegenzustehn schienen, sollten die Berge, aus denen solche Wasser entspringen, grofse Volta'sche Säulen bilden und als solche durch Potenzirung aus unbekannten Stoffen oder durch blofse schaffende Kraft den Gehalt der Quellen erzeugen. Diesemgemäfs behauptete Steffens, „warme Quellen, Erdbeben und vulcanische Ausbrüche „fänden nur da statt, wo Steinkohlenlager vorhanden sind, „weil diese allein die Verbrennung möglich machten und in „dem grofsen elektromotorischen Apparate der Erde eine kräf„tige elektrische Spannung unterhalten könnten. Habe man „aber diese Erscheinungen in den Primitiv-Formationen Süd„america's zu beobachten geglaubt, so seyen steinkohlenhalti„ge Flötz-Porphyre mit Urporphyren verwechselt worden.“ Von Humboldt[2] aber wies nach, dafs die heifsen Quellen vielmehr vorzugsweise aus Granit und Gneis ausströmen und dafs er in Gemäfsheit des selbstgesammelten reichen Schatzes von Erfahrungen keineswegs geneigt sey, die Erde für eine grofse Pile zu halten. Von einem bekanntlich so scharfsinnigen Denker liefs sich übrigens kein andres Urtheil, als dieses, erwarten, denn die Hypothese mit ihrem Unterstützungsgrunde fordert nichts Geringeres, als anzunehmen, dafs die nämlichen Berge genügen sollen, dasjenige als producirende Maschinen zu erzeugen, wozu sie als Product nicht ausreichen, so undenkbar es auch immerhin ist, dafs eine Volta'sche Säule eine gröfsere Masse zerlegter Substanzen liefere, als sie selbst beträgt. Noch auffallender aber mufs es bei dieser Hypothese seyn, dafs sie sich der Mühe überhebt nachzuweisen, aus welchen Substanzen die vermeintlichen Säulen die Producte ihrer Zerlegung erhalten, da es schwerlich je-

---

1 Geognostisch-geologische Aufsätze, Hamb. 1810. S. 322.335.
2 Reisen. D. Uebers. Th. III. S. 42.

mandem in den Sinn gekommen ist, den Volta'schen Ketten die Kraft einer Schöpfung aus Nichts beizulegen[1].

Bei der auffallenden Schwäche der eben mitgetheilten Hypothese, welche bloſs durch wiederholte Declamationen erhoben, keineswegs aber im Einzelnen den Resultaten der Beobachtungen angepaſst wurde, indem niemand thatsächlich nachwies, was für Elemente und in welcher regelmäſsigen Verbindung sie die vermeintliche Säule bildeten, wo die ihre Pole verbindenden Leiter anzutreffen seyen, woher sie die zerlegten Massen nehme, was ihre Wirksamkeit seit Jahrhunderten in ungeschwächter Dauer erhalte u. s. w., konnte sich kein eigentlicher Streit über dieselbe erheben, und ihre Anhänger waren keine eigentlichen Vertheidiger derselben, sondern bloſs solche, die sich im Allgemeinen zu ihr bekannten. Unter der nicht geringen Zahl derselben mag es genügen, bloſs Voigt[2], Wurzer[3] und Anglada[4] zu nennen, welche übrigens nebst allen andern zur festern Begründung derselben gar nichts beigetragen haben.

Ehemals leitete man die Hitze der Thermen von Schwefelkiesen ab[5], die sich ziemlich allgemein im Innern der Erde befinden, deren Daseyn gerade an den Orten der Thermalquellen und in genügender Menge sich aber keineswegs jederzeit nachweisen lieſs. Die vermeintliche Selbstentzündung

---

1 Das schon durch Lichtenberg getadelte Verfahren, bei der Erklärung der Naturerscheinungen ohne genügenden Grund vorzugsweise zur Elektricität seine Zuflucht zu nehmen, hat mehrere sogenannte elektrische oder elektrochemische Theorieen der Mineralquellen erzeugt, die kaum eine Erwähnung verdienen. So sind nach Kollreuter die Mineralquellen Erzeugnisse der Erdelektricität, indem in den heiſsen der Wasserstoff = — E., in den kalten der Sauerstoff = + E. vorwalten soll, weswegen sie in den Krankheiten von entgegengesetztem Charakter anwendbar sind. S. Charakteristik der Mineralquellen in physischer und medicinischer Hinsicht von Dr. W. L. Kollreuter. Pforzheim 1818.

2 Hermbstädt's Bulletin Jahrg. 1810.

3 Physikalisch - chemische Beschreibung d. Schwefelquellen zu Nenndorf u. s. w. Cassel 1815. S. 43.

4 Mémoires pour servir à l'histoire générale des eaux minerales sulphureuses. Par. 1827.

5 Insbesondere geschah dieses durch Becher in dessen: Neue Abhandlungen über das Carlsbad. 2te Aufl. Leipz. 1789. S. 204.

der Schwefelkiese folgerte man sehr oberflächlich aus Lemery's bekannter Nachbildung der Vulcane durch ein Gemenge von Schwefel und Eisenfeilicht; allein die Schwefelkiese, in denen die beiden Bestandtheile bereits verbunden sind, entzünden sich nicht mehr, und auf jeden Fall nicht ohne freien Zutritt der atmosphärischen Luft. Berzelius[1] verwirft daher diese Meinung gänzlich, weil die Art Schwefelkies, die sich leicht entzündet, ein *sehr seltenes* Mineral ist, und man kein Beispiel von brennenden Schwefelkieslagern hat, die ohne gleichzeitiges Brennen von Steinkohlen nicht bald von selbst erloschen wären. Brennende Steinkohlenlager kündigen sich aber überall durch Rauch an, den man in der Umgebung der Thermen nicht wahrnimmt, außer bei vorhandenen Vulcanen, namentlich bemerkt L. von Buch[2], daſs solche Kennzeichen eines unterirdisch brennenden Steinkohlenflötzes, welches Klaproth als Ursache der Wärme jener Thermen ansieht, sich in der Umgegend von Carlsbad durchaus nicht vorfinden. Berzelius meint ferner, daſs ein Steinkohlenflötz zwar lange brennend bleiben könne, nach mehrern Jahrhunderten aber von selbst aufhören müsse, was mit dem leicht erweislichen hohen Alter mancher Thermen nicht wohl übereinstimme. Seitdem man übrigens so viele heiſse Quellen beobachtet hat, die in der Nähe noch brennender Vulcane entspringen und ihre Wärme entschieden durch diese erhalten, nachdem diese Thatsache insbesondere durch die vielen gründlichen Forschungen von Al. von Humboldt und Leop. von Buch über jeden Zweifel erhoben ist, seitdem man ferner die chemischen Analysen der ächt vulcanischen Quellen, namentlich der Isländischen, mit denen der in der Nachbarschaft erloschener Vulcane, namentlich in der Umgegend des Puy de Dome und bei Carlsbad, entspringenden Thermen verglichen und ihre nahe Uebereinstimmung aufgefunden hat, kann man nicht füglich mehr an der Richtigkeit der durch Berzelius[3] aufgestellten Meinung zweifeln, daſs die Hitze im Innern der bereits erloschenen Vulcane, welche durch die Decke von so bedeutender

1 G. LXXIV. 174.

2 Bergmännisches Journal 1792. S. 412.

3 A. a. O. G. LXXIV. 179 ff. Vergl. Daubeny in Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XXIII. p. 49.

Mächtigkeit nicht wohl entweichen kann, den Thermen ihre Wärme mittheilt, und dafs eben dieselbe noch fortwährend im Schoofse der Erde diejenigen Zersetzungen bewirkt, durch welche die Mineralquellen die sie auszeichnenden Bestandtheile erhalten. In welchem Zusammenhange diese Ansicht mit der neuerdings erwiesenen, mit der Tiefe zunehmenden Wärme der Erde stehe, übersieht man leicht, und es ist daher nur eine Modification derselben, wenn die lauen Wasser nach Brongniart[1] und andern durch die innere Erdwärme ihre höhere Temperatur erhalten sollen. Am ausführlichsten ist diese Hypothese durch Bischof[2] in Einzelnen geprüft und durch eine grofse Menge von Thatsachen unterstützt worden. Unter andern berechnet dieser aus seinen Versuchen mit künstlich erhitztem Basalt, dafs 8,25 Billionen Pfund dieser Felsart hinreichen würden, um die Carlsbader Quellen 7000 Jahre lang zu erwärmen. Hierbei ist allerdings die Menge des erforderlichen Gesteins auf den ersten Anblick unermefslich, allein die nähere Berechnung zeigt, dafs 0,3 des einzigen Donnersberges in Böhmen dieser Masse gleichkommen, und dabei weifs man ohnehin nicht, in welche grofse Tiefe das atmosphärische Wasser herabsinken mufs, um die erforderliche, wegen der sämmtlichen bereits hinlänglich erhitzten Canäle stets gleichbleibende, Temperatur zu erhalten, und wie stark die dortigen Fossilien früher erhitzt waren. Es läfst sich bei dieser Ansicht allerdings nicht in Abrede stellen, dafs die Temperatur der Thermalquellen stets abnehmen müsse, allein bei dem unermefslichen Vorrathe des erhitzenden Materials ist die Zeitdauer der angestellten genauen Messungen viel zu kurz, als dafs eine Abnahme bereits merklich werden könnte. Im Allgemeinen bestätigt nämlich die Erfahrung, dafs die Temperatur der Thermen selbst während der Dauer von Jahrhunderten sich nicht ändert, wie namentlich Berzelius[3] von Carlsbad und den heifsen Quellen zu Mont d'Ore nachgewiesen hat. Merkwürdig aber ist, dafs Boussingault und Rivero[4]

1 Hist. nat. de l'Eau.

2 A. a. O. Als einen Anhänger Bischof's bekennt sich Stifft in Folge seiner Untersuchungen der Nassau'schen Mineralwässer. Edinb. Phil. Journ. N. Ser. N. XXIV. 290.

3 A. a. O. S. 190.

4 Aus Archiv. Gen. 1833. Mars in Dublin Journ. of Med. and

die Wärme der oben erwähnten Quelle zu Mariara höher fanden, als von Humboldt, und zwar so, dafs hier kein Beobachtungsfehler obwalten kann, da andere Messungen so genau übereinstimmen. Letzterer hatte sie nämlich im Jahr 1800 nur 59°,3 gefunden, erstere aber erhielten 1823 vielmehr 64°, auch fanden sie die Wärme der einen Quelle zu Las Trincheras allerdings ganz übereinstimmend mit v. Humboldt 92°,2, die der andern aber 97°; beide Messungen wurden im Monat Februar gemacht, so dafs aus der ungleichen Jahreszeit kein Grund dieser Abweichung zu entnehmen ist. Die beiden genannten Reisenden wollen ferner beobachtet haben, dafs die Temperatur der Quellen mit der Höhe abnimmt, denn sie fanden zu Las Trincheras bei Porto Cabello ungefähr im Niveau des Meers 97°, zu Mariara in 476 Meter Höhe 64° und in der Quelle zu Onoto auf 702 Meter Höhe 44°,5. Zur weitern Prüfung dieser Behauptung müfsten Versuche bei Quellen gemacht werden, die an dem nämlichen Orte in ungleichen Höhen entspringen, wozu aber selten Gelegenheit gegeben wird. Dafs die Bestandtheile der Mineralquellen zuweilen überhaupt oder in unbestimmten Perioden eine Veränderung erleiden, behauptet F. Wurzer [1], es sind mir jedoch keine sonstige zur Entscheidung dieser Frage genügende Erfahrungen bekannt.

Es ist ein ziemlich allgemein verbreitetes, durch verschiedene Aerzte unterstütztes Vorurtheil, dafs die Wärme der natürlichen Mineralwasser eine andere und zwar höhere Potenz sey, als diejenige, die man ihnen künstlich mittheilen kann. Zum Beweise führte man die vermeintlichen Erfahrungen an, wonach die natürlichen Thermalwasser einen andern Eindruck auf den menschlichen Körper machen sollen, als künstlich erhitztes Wasser, indem man die erstern heifser und mit geringerem Widerwillen trinken könne, als die letztern, ungeachtet diese Behauptung damit im Widerspruche steht, dafs das Wasser der Thermen zu technischen und ökonomischen Zwecken vielfach mit gleichem Erfolge, als künstlich erhitztes, benutzt zu werden pflegt. Auch auf Vegetabilien

---

chem. Science T. III. p. 428. Vergl. Ann. de Chim. et Phys. XXIII. 272. LII. 188.

1 Schweigg. Jahrb. XII. 122.

sollten sie eine abweichende Wirkung hervorbringen, indem Pflanzen in jene bei 88° C. getaucht nicht zerstört, sondern vielmehr frischer und lebendiger würden. Hauptsächlich aber wollte man gefunden haben, dafs das Thermalwasser seine Wärme ungleich fester gebunden enthalte und sie daher bei gleichen Temperaturgraden und unter gleichen Bedingungen weit langsamer verliere, als gemeines Wasser, in welcher Beziehung man sich auf die Resultate vergleichender Versuche stützte, die mit dem Wasser der heifsen Quelle zu Bourbonne wirklich angestellt worden waren[1]. Diese entschieden allerdings für die aufgestellte Behauptung; allein weil danach eine eigenthümliche Modification der Wärme statt finden müfste, zu deren Annahme keine sonstige Erfahrungen berechtigen, indem sie mit diesen vielmehr im Widerspruche steht, und da es Pflicht des besonnenen Physikers ist, keine ältere wohlbegründete Erfahrung wegen einer neuen ohne hinlängliche Prüfung aufzugeben, so untersuchte man die Sache abermals mit der für solche Versuche unerläfslichen Vorsicht, und dabei fand namentlich Longchamp[2], dafs bei beiden Arten von Wassern die Zeiten der Abkühlung einander völlig gleich sind. Später wurde jene Behauptung wieder durch Kastner in Schutz genommen, aber durch die mit gehöriger Vorsicht angestellten Versuche von L. Gmelin und Lade genügend widerlegt[3], auch fand Salzer[4] diese Eigenschaft nicht beim Thermalwasser zu Baden-Baden, so oft sie diesem auch zugeschrieben wird.

Eine gleiche Bewandtnifs hat es mit der oft untersuchten Frage, ob es möglich sey, die natürlichen Mineralquellen völlig genau künstlich nachzubilden. Dafs organische Körper zwar durch Entziehung irgend eines Bestandtheils in andere von einer niedrigern Stufe verwandelt werden können, die höhern Zusammensetzungen aber wegen der dabei in geringerer Stärke vorwaltenden Affinitätsgesetze der Kunst unerreichbar sind, ist als im Wesen der Sache gegründet bereits bei

---

1 Dict. de Medec. VII. 260. Journ. Compl. du Dict. des Sciences medic. VI. p. 103.

2 Ann. de Chim. et Phys. XXIV. 243.

3 G. LXXXIII. 451.

4 Schweigg. Journ. IX. 180.

der Untersuchung der Materie überhaupt nachgewiesen worden[1]. Insofern aber die Mineralwasser unorganische Körper sind, mufs ihre vollständige Nachbildung möglich seyn, sobald die Bestandtheile derselben hinlänglich bekannt sind. Man hat daher gegen die künstliche Nachbildung das Argument geltend gemacht, dafs frühere Analysen einige in geringen Quantitäten vorhandene Stoffe nicht angegeben haben, ja dafs selbst durch die spätern bessern einige, namentlich das Lithium, nicht aufgefunden worden sind[2]. Soviel ist allerdings richtig, dafs künstliche Mineralwasser die Wirkung der natürlichen nicht haben können, wenn ihnen Bestandtheile fehlen, welche den Einflufs derselben auf den menschlichen Körper bedingen; allein einestheils ist jetzt die Kunst der Analyse so weit fortgeschritten, dafs nicht füglich irgend ein in mefsbarer Menge vorhandener Stoff entgehn kann, anderntheils zeigen die, namentlich durch Struve, nachgebildeten vollständig und genau die nämlichen Wirkungen auf den menschlichen Körper als die natürlichen. Wenn aber manche Aerzte noch jetzt von unbekannten Potenzen, von eigenthümlichen Inponderabilien, die weder in bestimmten Heilquellen noch sonst überall nachweisbar einen eigenthümlichen Einflufs der Mineralwasser auf den menschlichen Körper bedingen sollen, sprechen, so zeigt dieses, wenn es anders ernstlich und nicht blofs zur mysteriösen Anpreisung der von ihnen empfohlenen Brunnen- oder Badeanstalt geschieht, wie schwer es von den ältesten Zeiten herab bis zu den neuesten hielt, den aus einer natürlichen Vorliebe für das Wunderbare folgenden Hang zur Annahme unbekannter Potenzen und verborgener Kräfte (*qualitates occultae*) zu vertilgen. M.

Rad.

Rota; Roue; *Wheel.*

Man versteht unter Rad im Allgemeinen eine runde Scheibe, welche massiv oder mit Speichn versehn ist, eine ebene oder

---

1 S. Art. *Materie.*

2 Auch das Jod kannte man früher nicht, und dennoch haben alle Quellen, in denen Chlornatrium oder Chlorcalcium vorkommt, auch Spuren von Jod nach Henderson in Phil. Mag. and Ann. N. XXXVII. p. 10.

mit Furchen versehene Peripherie hat und allezeit in Beziehung auf eine durch ihren Mittelpunct gehende, auf ihre Ebene perpendiculäre, entweder in ihr festsitzende oder bewegliche Axe betrachtet wird. Das bei ihm, wie bei der ihm ähnlichen Rolle, zum Grunde liegende mechanische Princip ist der Hebel, indem man von jedem Puncte sowohl der Peripherie jener Scheibe als auch der Oberfläche der physischen Axe aus, auf welchen eine Kraft oder die Resultirende mehrerer bewegenden Kräfte wirkt, eine Linie bis zur gemeinschaftlichen geometrischen Axe beider fällt und diese als die Längen der Hebelarme betrachtet, deren Hypomochlium in dieser geometrischen Axe selbst liegt. So einfach übrigens das Princip ist, worauf alle Arten von Rädern zurückkommen, nämlich das bereits erklärte vom Hebel[1], eben so vielfach sind die Anwendungen, die man davon gemacht hat, deren zahlreiche Modificationen nicht selten zu weitläufigen und schwierigen Erörterungen führen, die einen wesentlichen Theil der praktischen Maschinenlehre ausmachen. Nach dem Plane und der Anlage dieses Werks wird es zweckmäfsig seyn, die verschiedenen Arten der Räder namhaft zu machen und dasjenige, was bei ihnen in mechanischer Hinsicht wesentlich ist, kurz zusammenzustellen.

A. Wagenrad.

Die an Wagen aller Art, an Karren, Schubkarren, Pflügen u. s. w. vorkommenden Räder bestehn meistens aus einem in der Mitte befindlichen, ausgehöhlten, auf der Axe umlaufenden oder mit letzterer fest verbundenen Stücke, der *Nabe*, aus den in diese gefügten *Speichen* und aus einem äufseren Kranze, den *Felgen*. Ob die Nabe um die Axe umläuft oder an ihr festsitzt, macht für das Wesen der Construction keinen Unterschied, auch ist letzteres bei weitem am seltensten der Fall und findet sich meistens nur bei einigen Pflugrädern und bei den Rädern der Schubkarren oder der für Eisenbahnen bestimmten Wagen, weil hierdurch die Räder minder wankend werden und genauer auf den Eisenschienen ruhn.

Die Bedingungen eines guten Baues der Räder werden allgemein aus dem Wesen ihrer Bestimmung entwickelt. Wohl

---

1 S. *Hebel*. Bd. V. S. 105.

ohne Ausnahme dienen die hier zu untersuchenden Räder zur Fortschaffung von Lasten, da von Schwungrädern, Treträdern u. s. w. die Rede nicht seyn kann. Auf einer ebenen Fläche werden die Lasten ganz durch den Widerstand dieser letzteren getragen, zur Bewegung derselben auf einer Ebene wäre demnach blofs die Trägheit zu überwinden, welche bei geringer oder einmal erzeugter Bewegung verschwindend klein oder = 0 ist, und wenn daher mehr Kraft hierzu erfordert wird, so mufs dieses in einem andern Umstande gegründet seyn, als welchen man sehr bald die Reibung erkennt, wozu bei der geneigten Ebene noch die dem Sinus des Neigungswinkels proportionale Hebung der Last kommt[1], die wir hier unberücksichtigt lassen. Liegt die Last auf einer Unterlage und wird sie mit dieser zugleich bewegt, so mufs also die Reibung überwunden werden, welche der Last direct und der Glätte umgekehrt proportional ist[2]; die zur Bewegung erforderliche Kraft kann daher $K = mP$ genannt werden, wenn das Gewicht der fortzuschaffenden Masse und des Vehikels durch P, die unbestimmbare Reibung aber oder der Reibungscoefficient durch m bezeichnet wird. Zugleich aber sind die sogenannten ebenen Strafsen, die Wege, auf denen die Lasten transportirt werden, nicht vollkommen glatt, noch auch in der Regel so hart, dafs sie den Unterlagen nicht nachgeben, also keinen Eindruck erhalten sollten, indem zugleich die ihre Rauheit erzeugenden Körper entweder zur Seite gedrückt, oder die Lasten über sie weggehoben werden müssen. Hierdurch mufs also der Reibungscoefficient bei sogenannten Schleifen zu einer bedeutenden Gröfse anwachsen, die durch Anwendung der Räder ausnehmend vermindert wird.

Diente ein Rad auf eine solche Weise zur Unterstützung der Last, dafs diese auf seinem oberen Rande ruhete, und wäre es selbst dann auf einer absolut harten und ebenen Fläche befindlich, so würde zur Bewegung gleichfalls nur eine verschwindend kleine Kraft erforderlich seyn, weil bei gleichmäfsiger Vertheilung seiner Masse der Schwerpunct im Mittelpuncte liegt, folglich in jeder Lage desselben die hierdurch gefällte lothrechte Linie stets in den Unterstützungspunct fällt, und da beim

1 Vergl. Art. *Ebene, geneigte.* Bd. III. S. 65.

2 Vergl. *Reibung.*

Fortrollen desselben allezeit neue Theile mit der unterstützenden Ebene in Berührung kommen, so fällt hiermit die Reibung weg. Allein unter diesen Bedingungen kann die Last bei der Bewegung ihre Unterstützung nicht beibehalten, müfste vielmehr auf dem obern Rande fortgeschoben werden, wodurch der ganze Nutzen ein eingebildeter wird; inzwischen beruht hierauf die ungemeine Leichtigkeit, womit die Schmiede selbst die schwersten Räder fortzurollen pflegen, desgleichen die aufserordentliche Verminderung der erforderlichen Kraft, wenn die schwersten Lasten auf Walzen oder auf Kugeln, die in hölzernen Rinnen liegen, transportirt werden. Bei den Rädern dagegen ist die Reibung nicht aufgehoben, aber sie findet am Umfange der Axe statt, und da das Rad auf seinem Umfange fortrollt, so mufs die Reibung im Verhältnisse der Halbmesser von beiden vermindert werden. Bezeichnet man also diese Halbmesser der Axe und des Rads durch r und R, so ist

$$K = m P \frac{r}{R}.$$

Die Zahl der Räder eines Wagens u. s. w. macht hierbei keinen Unterschied; denn es mufs zwar der für K gefundene Ausdruck mit der Zahl der Räder dividirt werden, wenn man die zur Bewegung jedes einzelnen Rads erforderliche Kraft finden will, allein um die zur Fortschaffung der ganzen Last nöthige Kraft zu erhalten, mufs man diese einzelnen Gröfsen wieder summiren.

Die Axen, selbst die dickeren, haben selten über 3 Zoll im Durchmesser, und wenn dann die Höhe der Räder zu 5 Fufs oder 60 Zoll angenommen wird, so erhält man $\frac{r}{R} = \frac{3}{60} = \frac{1}{20}$. Wird dieser Werth in die Formel gesetzt, $m = \frac{1}{3}$ und $K = 100$ angenommen, so ist $P = 6000$. Die Kraft eines Pferds ist also nur gering zu 100 ℔ angenommen, wie sie auch durch mittelmäfsige Pferde bei anhaltender Arbeit geleistet werden kann, die Reibung $m = \frac{1}{3}$ ist bei der Glätte der sich reibenden Flächen gröfser als in der Wirklichkeit angenommen, und dennoch giebt das Resultat eine Belastung von 60 Cent. für 1 Pferd, da doch gewöhnlich nur 10 bis 12 Cent. gerechnet zu werden pflegen. Nimmt man für P diese Gröfse, nämlich 1200 ℔, und sucht m als unbekannt, so erhält man $m = \frac{5}{3}$, und es müfste also die Reibung sogar die Gröfse der Last über-

steigen. Hieraus ergiebt sich augenfällig, dafs bei der Fortschaffung der Lasten auf Fuhrwerken mit Rädern noch andere Hindernisse der Bewegung statt finden müssen, inzwischen folgen doch aus den bisherigen Bestimmungen schon einige Regeln für den zweckmäfsigen Bau der Räder.

1) Da die zur Bewegung erforderliche Kraft um so geringer wird, je kleiner das Verhältnifs r : R ist, so ergiebt es sich als vortheilhaft, die Durchmesser der Axen möglichst klein und die der Räder möglichst grofs zu wählen. Es verdienen also die eisernen Axen, die wegen gröfserer Tragkraft des Eisens dünner seyn dürfen und obendrein sich weit glatter darstellen lassen, als die mit eisernen Schienen belegten hölzernen, vor den letzteren einen entschiedenen Vorzug, und sie sind desto besser, je dünner sie gemacht werden, wenn nur ihre unentbehrliche Stärke darunter nicht leidet. Auch die Höhe der Räder findet eine Beschränkung darin, dafs sie mit der Zunahme derselben mehr schwanken und zerbrechlicher werden, weswegen sie bei den schwersten Frachtwagen 4 bis 4,5 Fufs nicht zu übersteigen pflegen, oft aber kaum 3 Fufs Höhe haben.

2) Die Räder müssen genau rund und ohne Erhabenheiten (sogenannte Radnägel) auf ihrer Peripherie seyn, weil sonst die Last da, wo ihr Halbmesser R kleiner wird, herabsinken würde, und dann wieder gehoben werden müfste. Es läfst sich jedoch annehmen, dafs die Excentricität auch bei schlechteren Rädern nie eine mefsbare Gröfse erreicht, und kann dieser Fehler also vernachlässigt werden; desto bedeutender ist das Hindernifs, welches aus den Nagelköpfen entsteht, aber ebenso, wie das durch die auf den Strafsen befindlichen erhabenen Steine erzeugte, über welche die Räder gehoben werden müssen, der Höhe der Räder proportional abnimmt. V. Gerstner[1] berechnet, dafs der Widerstand, welcher durch solche Nagelköpfe von $\frac{1}{8}$ Zoll Höhe und 9 Zoll Abstand von einander erzeugt wird, demjenigen gleich ist, welchen 2 Zoll hohe und 4 Fufs von einander entfernte Steine verursachen, jeder derselben aber doppelt so grofs als der aus der Reibung an der Axe entstehende. Die nähere Untersuchung ergiebt ferner, dafs die zur Ueberwindung dieses Widerstands erforderliche Zugkraft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist, weswegen die Lastwagen auf

1 Handbuch der Mechanik u. s. w. Prag 1831. Th. I. S. 576.

steinigen Strafsen langsam fahren. Die den Landstrafsen ohnehin nachtheiligen Radnägel sind jetzt fast ganz allgemein abgeschafft, die Rauheiten der Strafsen sind aber im Allgemeinen nicht zu vermeiden; inzwischen geht aus dieser Betrachtung schon der Grund hervor, weswegen auf den ganz glatten Eisenbahnen mit geringer Zugkraft so aufserordentlich grofse Lasten fortgeschafft werden. Einen Ersatz derselben geben die in Italien und England, namentlich Edinburg und London, üblichen *Steinbahnen*, die aus zwei Streifen von horizontal auf festem Grunde liegenden, 2 F. langen, 18 Zoll breiten und 15 Zoll tiefen harten Steinen bestehn, über welche die Wagenräder hinrollen. Diese Einrichtung verdient überall nachgeahmt zu werden, wo es schwere Lasten auf kurze Strecken zu transportiren giebt[1]; ein anderer, kürzlich in London gemachter Versuch aber, die Strafsen mit harten Steinen von etwa 10 Zoll Höhe und ebener, 8 Z. Seite haltender, quadratischer Oberfläche zu pflastern, wobei noch obendrein die Fugen durch einen dünnflüssigen Kalkmörkel ausgefüllt wurden, hat deswegen keine genügende Resultate gegeben, weil die Pferde wegen zu grofser Glätte darauf gleiten. Ist endlich die Reibung des Radkranzes auf dem Boden geringer als die an der Axe, so läuft das Rad nicht um, wie man zuweilen im Winter bei sehr glatten Schneebahnen und wenn die Schmiere durch Kälte erstarrt ist, wahrzunehmen pflegt.

3) Rollen die Räder nicht auf Stein- und Eisen-Bahnen oder hartem Steinpflaster fort, so erzeugen ihre Reifen einen Eindruck, ein Geleise, dessen Tiefe der Weichheit des Bodens direct, der breite der Radfelgen aber umgekehrt proportional ist. Nach den Untersuchungen von v. Gerstner, deren Mittheilung hier zu viel Raum erfordern würde, wächst der hierdurch erzeugte Widerstand in einem gröfseren Verhältnisse, als die Last; weswegen es vortheilhaft ist, beim Fahren auf weichem Boden die Last auf mehrere Wagen zu vertheilen, indem z. B. bei gleichem Gewichte der Lasten mit Einschlufs der Wagen die nämliche Last auf einem Wagen 16 Pferde, auf 8 Wagen vertheilt aber nur 8 Pferde erfordern würde. Hieraus geht hervor, dafs vierrädrige Wagen besser sind, als zweirä-

---

1 Es ist mir nicht unwahrscheinlich, dafs solche Steinbahnen auch auf längere Strecken die Eisenbahnen ersetzen könnten.

drige Karren, beider Gewichte als gleich angenommen; aufserdem aber haben die letzteren noch den Nachtheil, dafs die auf der Axe der beiden Räder genau balancirte Last beim Bergabfahren zu sehr auf das Deichselpferd drückt, beim Berganfahren aber dasselbe hebt, und also durch beides die gleichmäfsige Kraftäufserung desselben hindert. Es läfst sich ferner leicht übersehn, dafs hohe Räder den aus den Geleisen entstehenden Widerstand am leichtesten überwinden, hauptsächlich aber wird derselbe durch die gröfsere Breite der Radfelgen ausnehmend vermindert, und zwar im Verhältnisse der Kubikwurzeln aus dieser Breite, indem der Widerstand $w = \sqrt[3]{\frac{1}{b}} : \sqrt[3]{\frac{1}{b'}}$ ist, wenn b und b' die Breite der Radfelgen bezeichnen. Man ersieht hieraus den Grund, warum die Fuhrleute bei schlechten Wegen die bereits ausgefahrnen Geleise suchen, wodurch jedoch die Strafsen noch mehr dem Verderben ausgesetzt sind; noch leichter aber ergiebt sich hieraus der Grund, warum in England, Frankreich und auch in einigen deutschen Staaten eine den Breiten der Felgen proportionale Ladung gesetzlich vorgeschrieben ist, in den beiden ersten Ländern auch an den Hauptstrafsen auf gewissen Strecken sich Waagebrücken (*ponts à bascule*) befinden, auf denen die Wagen gewogen werden, um ihr Totalgewicht mit der Breite der Radschienen zu vergleichen. In England datirt sich diese Einrichtung von der im 3ten Regierungsjahre Georg's IV. erlassenen Parlamentsacte, in Frankreich vom Regierungsdecrete vom 23ten Juni 1806, und besteht im letzteren Lande aufserdem das Gesetz, dafs die Hinterräder gerade um die Felgenbreite weiter als die vordern von einander abstehn müssen, so dafs also beide die Strafsen mehr festwalzen, als zerdrücken. Schlichtegroll[1] rechnet auf jeden Zoll Breite der Radschienen einen Druck von 320 ℔, also auf 10 Zoll 32 Cent. für jedes Rad, mithin für 4 Räder mit Inbegriff des Wagens 128 Cent., wovon bei 8 Pferden Bespannung auf jedes 16 Cent. kommen und also folgende zusammengehörige Gröfsen hervorgehn:

Last	Pferdezahl	Felgenbreite
32 Cent.	2	2,5 Zoll
64 —	4	5,0 —

1 Ueber den Nutzen der breitfelgigten Räder u. s. w. München 1819. 8. S. 34.

Last	Pferdezahl	Felgenbreite
96 Cent.	6	7,5 Zoll
128 —	8	10,0 —

Hiernach sind für Kutschen und leichteres Fuhrwerk die ungewöhnlich breiten Felgen nicht erforderlich. Aus den Resultaten der theoretischen Untersuchungen und den vielen Erfahrungen des Grafen RUMFORD[1] geht hervor, daſs der Widerstand auch durch die gröſste Breite der Radschienen nicht vermehrt wird, selten aber lassen sich solche Räder von gleich geringem Gewichte, als die mit schmalen, verfertigen, der auf ebenen Straſsen verminderte Widerstand wird daher durch das Heben der Last auf den geneigten Ebenen der bergigen vermehrt, und hierin liegt der Grund des Widerspruchs, welchen solche in Frankreich und dem südlichen Deutschland übliche Räder anfangs im nördlichen fanden.

4) Die Tragkraft (rückwirkende Festigkeit) eines jeden Säulenschafts oder eines diesem ähnlichen Körpers ist am stärksten, wenn er vertical gegen die Last und gegen den Boden gerichtet ist, daher müssen die Räder zu gröſserer Dauerhaftigkeit rund seyn, d. h. die Speichen müssen eine rechtwinklige Richtung gegen die Nabe und gegen die Felgen haben. Es giebt aber auch konische Räder, die einen sehr stumpfen Kegel bilden, indem die Speichen vom Wagen abwärts gebogen sind. Für Stadtwagen ist diese Einrichtung vortheilhaft, weil sie eine gröſsere Breite des Wagenkastens, besonders am obern Theile desselben, gestattet, ohne anzustreifen oder ihn mit Koth zu beschmutzen, welcher bei schneller Bewegung gröſstentheils in der Richtung der Speichen fortgeschleudert wird. HUTTON[2] hält diese Gestalt auch aus dem Grunde bei Lastwagen für vortheilhaft, weil die Räder zuweilen in tiefe Geleise oder sonstige Vertiefungen herabsinken und der hierdurch entstehende Stoſs dann die Speichen in verticaler Richtung trifft, während die Wirkung der Last auf die

1 Vergl. Bibl. Brit. XLVII. 82. G. XXXVIII. 331. Daſs breite Räder leichter über Steine hinrollen, hat man schon früher anerkannt. S. Phil. Trans. XVI. p. 856. Der Nutzen der breitfelgigen Räder (Roues à larges jantes) wurde 1781 durch BOULARD und MARQUERON in einer Preisschrift für die Academie zu Lyon nachgewiesen. S. Journ. de phys. XIX. 424.

2 Mathem. and philos. Dictionary T. II. p. 601.

Räder der andern Seite dann am geringsten ist. Allein schwer beladene Frachtwagen dürfen solchen heftigen Stöfsen nicht ausgesetzt werden, weil sonst die Ladung sich nicht fest erhalten würde, und auf jeden Fall sind solche seitwärts gerichtete Stöfse sehr selten gegen die zahllose Menge der verticalen Stöfse, die unausgesetzt durch die Unebenheiten der Strafsen erzeugt werden und die konischen Räder in einer nachtheiligen Richtung treffen. V. Gerstner zeigt, dafs bei solchen konischen Rädern die ganze Fläche der Schienen nicht auf gleiche Weise mit der Ebene der Strafse in Berührung komme, weil die lothrecht auf die Speichen gesteckten Felgen eine schiefe Richtung erhalten, wodurch eine nachtheilige Reibung entstehn müsse; allein die Strafsen, die ohnehin oft etwas abschüssig sind, bilden keine so genaue Ebenen, dafs die geringe Abweichung bedeutend seyn könnte.

5) Die Tragkraft der Axen ist am gröfsten, wenn sie gerade sind, bei vielen Wagen aber, namentlich den Kutschen, sind sie an den Enden herabwärts gebogen, um dadurch in einer schmalern Spur zu laufen, ohne den breitern Kasten oder die Ladung zu berühren. Bei den leichteren Fuhrwerken entsteht hieraus kein bedeutender Nachtheil, die Last der schwereren aber erhält dadurch das Bestreben, die schief stehenden Räder mehr zu zerdrücken, wodurch sie früher wankend werden, abgerechnet, dafs solche Wagen leichter umfallen. Diese Ansicht ist wohl unzweifelhaft die richtige, ungeachtet Beigton[1] einige Vortheile einer solchen Construction aufzufinden sucht.

6) Bei den bisherigen Untersuchungen wurde eine gleiche Vertheilung der Last auf alle vier Räder, mithin auch eine gleiche Beschaffenheit der letzteren, angenommen. Oft aber sind die vorderen Räder der Wagen niedriger, und bei den Kutschen fast ohne Ausnahme, weil dann die niedrigern Räder tiefer unter dem höher liegenden Wagen laufen und hierdurch das Umwenden erleichtert wird, zu welchem Zwecke auch die Tragbäume der Wagen aufwärts gekrümmt (sogenannte *Schwanenhälse*) zu seyn pflegen. Hierdurch aber erhalten die Zugstränge eine Neigung gegen den Horizont, die Last mufs daher im Verhältnisse des Sinus dieses Neigungswinkels gehoben

1 Desaguliers Exper. Phil. T. II. Append.

werden, die Anwendung der Zugkraft findet aber nur im Verhältnisse des Cosinus desselben statt, woraus eine Verminderung der Kraft folgt, welche in dieser Beziehung nur dann ganz in Anwendung kommt, wenn die Zugstränge eine horizontale Richtung haben. Hieraus folgt also, daſs die vordern Räder den hintern gleich und von höchstens 5 Fuſs Durchmesser seyn müssen, weil eine gröſsere Höhe eine umgekehrte Neigung der Zugstränge zur Folge haben und hierdurch die Verwendung eines Theiles der Kraft zum Niederdrücken der Last erzeugen würde, die nicht bloſs zur Bewegung derselben gar nichts beitragen könnte, sondern diese vielmehr noch erschweren müſste. Für die leichten Stadtwagen ist dieser, ohnehin bloſs die minder beschwerten Vorderräder treffende, Kraftverlust ohne Bedeutung, indeſs bemerkt man doch deutlich bei sehr niedrigen Vorderrädern im Beginnen der Bewegung eine auffallende Hebung der Last. Bighton[1] nimmt jedoch auch für Lastwagen die niedrigen Vorderräder in Schutz, weil die Kraft der Pferde beim horizontalen Zuge nur gering sey, indem man bemerke, daſs sie bei starker Anstrengung sich vorn über bögen, wodurch ihre Brust tiefer herabkomme; auch sey ihre Kraftäuſserung gröſser, wenn sie einen Reiter auf ihrem Vordertheile trügen. Es hat dieses allerdings seine Richtigkeit, namentlich das letztere auffallende Resultat der Erfahrung; indeſs folgt dasselbe einfach aus dem Principe, daſs durch Vermehrung der bewegenden Masse auch das mechanische Moment wachsen müsse; allein in solchen Fällen geht die erforderliche Anstrengung des Pferds über die mittlere hinaus, kann daher nur kurze Zeit dauern und liefert also im Ganzen einen geringern Nutzeffect, weswegen auch ein auf diese Weise so übermäſsig angestrengtes Pferd, daſs es sich stets vorn über legen muſs, um die Last zu wältigen, oder noch obendrein das mit einem Reiter belastete weniger als ein im natürlichen Gange arbeitendes leisten wird. Weit gründlicher zeigt dagegen v. Gerstner, daſs bei beladenen Wagen und um so mehr, je höher die Ladung ist, der Schwerpunct der Last nicht in der Ebene der Axen liege, sondern höher, weswegen der Angriffspunct der Kraft nicht mit ihm zusammenfällt, woraus dann eine Umdrehung entstehen müſste, wenn der Widerstand der Straſse diese nicht hin-

---

1 Hutton Dictionary a. a. O.

derte. Eine tiefere Untersuchung führt dann zu dem merkwürdigen Resultate, daſs bei niedrigern Vorderrädern diesen ein Theil der Last abgenommen und den Hinterrädern zugelegt wird, so daſs die Bewegung des Wagens durch diese excentrische Richtung der Zugstränge wirklich einige Erleichterung erhält, die mit der Verlängerung des Wagens abnimmt. Hieraus folgt also, daſs auf jeden Fall die Vorderräder keine solche Höhe erhalten dürfen, woraus ein Herabgehn der Zugstränge unter die horizontale Richtung folgen würde, um so mehr als kurzdauernde ungewöhnliche Anstrengungen der Pferde, die ein Vornüberlegen und ein Herabsinken der Höhe ihrer Brust veranlassen, unvermeidlich sind, daſs aber die Vorderräder immerhin in dieser Beziehung etwas niedriger seyn können, da auſserdem die Höhe der Räder überhaupt wegen der Reibung und Ueberwindung der Widerstände der Straſsen so groſs seyn muſs, als die so eben angeführte Bedingung, ihr Gewicht, die Vermeidung zu starken Schwankens und die erforderliche Dauerhaftigkeit verstatten.

Als ein Zusatz zur Untersuchung der Wagenräder kann noch Folgendes betrachtet werden. Man hat beobachtet, daſs die Frachtwagen dann von selbst von einer Anhöhe sich herabbewegen, wenn diese auf 6 Fuſs Länge 2 Zoll Steigung hat. Da durch dieses Verhältniſs der Höhe der geneigten Ebene zur Länge $= \frac{2}{72} = \frac{1}{36}$ die Hindernisse der Bewegung überwunden werden, so erhält man hierdurch die auf der Ebene erforderliche Kraft $K = \frac{1}{36} P$. Nach v. Gerstner beträgt bei gut abgerundeten, obendrein aber bei eisernen Axen und Büchsen, desgleichen bei guter Schmiere der Reibungscoefficient $m = \frac{1}{8}$, welches gewiſs nicht zu gering angenommen ist. Wird dieser Werth in die oben mitgetheilte Hauptformel substituirt und zugleich die Höhe des Rads $= 4,5$ Fuſs, der Durchmesser der Axe aber $= 3$ Zoll gesetzt, so ist

$$K = m P \frac{r}{R} = \frac{1}{8} P . \frac{1}{18} = \frac{1}{144},$$

wenn bloſs die Reibung als das zu überwindende Hinderniſs der Bewegung betrachtet wird. Da aber so eben $K = \frac{1}{36}$ gefunden ist, so folgt aus $\frac{1}{36} - \frac{1}{144} = \frac{1}{48}$, daſs die übrigen Hindernisse der Bewegung im Verhältnisse von 144 : 48 zur Reibung stehn oder dreimal gröſser sind. Wird der eben gefundene Coefficient der Summe aller Widerstände als richtig

angesehn, so erhält man, die Kraft eines Pferds zu 100 ℔ angenommen, aus

$$100 = \frac{1}{36} P;\ P = 3600 = 36 \text{ Cent.}$$

als Ladung für 1 Pferd in der Ebene; und da für so kleine Winkel die Bogen den Sinus proportional gesetzt werden können, so würde 1 Zoll Steigung auf 12 Fuſs Länge schon eine Verdoppelung des erforderlichen Kraftaufwands erfordern. Hieraus ergiebt sich, warum Schlichtegroll nur 16 Cent. auf 1 Pferd rechnet, da Steigungen von der angegebenen Gröſse auf keiner längern Straſse gänzlich fehlen. Wie viel dagegen durch Umgehung steiler Anhöhen bei der Anlegung groſser Straſsen zur Förderung des Fuhrwesens gewonnen werde, geht hieraus klar hervor.

Aus allen bisher mitgetheilten Untersuchungen wird ersichtlich, daſs es vortheilhaft sey, die Achsen genau rund, von Eisen und so dünn zu machen, als die erforderliche Tragkraft verstattet. Die Naben müssen mit guten eisernen Büchsen versehn oder ganz von Eisen seyn, beträchtlich länger, als das Einfugen der Speichen erfordert, und genau auf die Achsen passen, damit sie nicht schlottern. Gewöhnlich haben sie einigen Spielraum zwischen dem Vorstecknagel (der Lünze), damit die Räder den Unebenheiten der Straſsen leichter ausweichen, auf sehr ebenen Straſsen ist es aber vortheilhafter, wenn dieser Spielraum sehr gering und die Räder am Ende verschlossen sind, um die flüssige Schmiere im Innern zu erhalten (*close ended wheels* der Engländer). Solche Naben werden in England sehr vortheilhaft von Guſseisen verfertigt. Die Speichen müssen auf ihnen vertical stehn, jedoch ist es nicht vortheilhaft befunden worden, die letzteren von Schmiedeisen zu verfertigen, weil die Räder dadurch zu schwer und in Folge zu harter Stöſse gegen die Unebenheiten der Straſsen bald verdorben werden. Vorzüglicher sind daher die hölzernen Speichen, weil sie mehr nachgeben, desgleichen hölzerne Felgen, die jedoch mit einem ungetrennten, durch vertiefte Nägel oder Schrauben befestigten, eisernen Reifen von der ganzen Breite der Felgen umgeben werden[1].

---

1 Aus der weitläuftigen Literatur über diesen Gegenstand nenne ich nur auſser der bereits erwähnten Mechanik von v. Gerstner noch einige classische Werke. N. Fuss Versuch einer Theorie des Wider-

B. Rad an der Welle.

Ist ein Rad, entweder mit Speichen und einem Kranze, oder eine massive Scheibe an einer Welle, einem willkürlich langen Cylinder, oder einem ähnlich gestalteten Körper, befestigt und wird dieser Apparat mechanisch so benutzt, dafs die Halbmesser beider als Hebel wirken, so nennt man diese einfache Maschine ein Rad an der Welle. Das hierbei zum Grunde liegende Princip ist kein anderes, als das für den Hebel gültige, wonach das statische Moment des Gleichgewichts die Gleichheit der Producte aus den Längen der Hebelarme in die Lasten erfordert. Es wird von dieser einfachen Maschine vielseitig Gebrauch gemacht, wonach sie dann verschiedene Abänderungen erleidet, die einzeln eigene Namen erhalten, im Ganzen aber in zwei Classen, mit horizontaler und verticaler Welle, zerfallen, obgleich es auch in seltenen Fällen gegen den Horizont geneigte Wellen giebt. Die vorzüglichsten hierzu gehörigen Maschinen sind folgende:

a) Das Rad an der Welle (*axis in peritrochio*; Axe dans la roue; *Wheel and axle*) besteht aus einem etwa 5 bis 20 Fufs im Durchmesser haltenden Rade an einem langen, ohngefähr 6 bis 18 Zoll dicken, horizontalen, um eiserne, in festen Lagern ruhende, Zapfen beweglichen Cylinder, und wird meistens auf Speichern gebraucht, um schwere Lasten aufzuwinden und dort aufzubewahren. Das Rad C besteht der Leichtigkeit wegen in der Regel aus einem leichten Kranze mit einer durch zwei an den Seiten befestigte parallele Ringe gebildeten Rinne, worin ein Seil ohne Ende so liegt, dafs durch Ziehen an demselben das Rad nebst der Welle um die an den Enden der letztern befindlichen eisernen Zapfen A, B umläuft. Damit das Seil nicht gleite, ist es doppelt umgewunden, zuweilen auch mit Knoten versehen, welche hinter eiserne Gabeln fassen; auch haben manche Räder an der Peri-

Fig. 184.

---

standes zwei- und vierrädriger Fuhrwerke u. s. w. Kopenh. 1798. 4. Cl. Kröncke Versuch einer Theorie des Fuhrwerks u. s. w. Giefsen 1802. 4. I. v. Baader neues System der fortschaffenden Mechanik u. s. w. München 1822. fol. Jacob's Observations etc. on Wheel-Carriages. Lond. 1773. Martin's Philos. Brit. cet. 1771. III T. 8. T. I. Ferguson's Lectures on Mechanics cet. enlarged by Brewster. III Vol. 1806. Emerson's Principles of Mechanics cet. 4. 1811.

pherie Zapfen, um vermittelst dieser umgedreht zu werden. Gröſsere Maschinen dieser Art haben am andern Ende der Welle noch ein kleines Sperrrad k mit einem Sperrhaken, damit die Last bei einem ungewissen Ereignisse nicht herabfallen und Beschädigung erleiden kann. Um das Verhältniſs der Kraft zur Last für den Zustand des Gleichgewichts zu finden, darf nicht vergessen werden, daſs die Dicke des um die Welle sich aufwickelnden Seils gegen den Durchmesser derselben oft nicht gering ist und daher mit in Rechnung kommen muſs. Heiſsen daher die beiden Lasten p und P, die Durchmesser des Rads und seines Seils D und d, der Welle und ihres Seiles Δ und δ, so ist

$$(D+d)\,p = (\Delta+\delta)\,P.$$

Soll dann Bewegung erfolgen, so müssen die Hindernisse derselben, nämlich Reibung und Steifheit der Seile, überwunden werden, worüber eigene Artikel nähere Auskunft geben. So lange die Richtung beider Seile mit der geometrischen Achse des Rads und der Welle zwei rechte Winkel bildet, ist ihre Richtung in der hierdurch gegebenen verticalen Ebene ohne Einfluſs, indem sie sich stets als Tangenten an den Umfang des Rades und der Welle anlegen und daher im Angriffspuncte mit dem von der Axe aus an diesen Punct gezogenen Radius allezeit einen rechten Winkel bilden.

b) Wenig verschieden hiervon, auf das nämliche Princip gegründet und daher eine gleiche Berechnung des Verhältnisses der Kraft und der Last gestattend sind die mancherlei Haspel (*Sucula;* Treuil; *Windlaſs*), die bei geringen Abänderungen eigenthümliche Namen erhalten. Diese sind das sogenannte *Spillenrad*, *Spindelrad* oder der *Radhaspel*, dessen Rad allezeit mit Spindeln oder Spillen versehn ist und sich meistens auſserhalb der Unterlage an dem einen verlängerten Ende des eisernen Tragzapfens befindet. Sind dagegen durch das eine oder durch beide Enden der Welle sich kreuzende Bäume durchgesteckt, so nennt man die Maschine einen *Kreuzhaspel*, befinden sich aber Kurbeln an beiden oder an einem Ende, so heiſst sie ein *Hornhaspel*. Meistens ist die Einrichtung derselben so, daſs die Last am einen Ende des Seiles heraufgewunden wird, während das leere Gefäſs am andern herabgeht. Bei sehr bedeutenden Tiefen müſste hierdurch die zu wältigende Last wegen ungleicher Länge des herabhän-

Fig. 185.

Fig. 186.

Fig. 187.

genden Seils höchst ungleich werden, allein man bringt bloſse Haspel selten oder nie bei so beträchtlichen Tiefen in Anwendung. Sollen am Hornhaspel viele Arbeiter angestellt werden, so giebt man ihnen gekröpfte Kurbeln, was keiner weitern Erläuterung bedarf. Eine eigenthümliche Art Haspel ist die *Gegenwinde* (Treuil différentiel) mit einer Welle, deren beide Hälften einen ungleichen Durchmesser haben. Die Last ist auf beide Seile vertheilt; weil aber bei der Umdrehung der Welle und einer gleichen Anzahl von Windungen ungleiche Längen der Seile auf- und abgewunden werden, so muſs hiernach die Last entweder aufsteigen oder herabsinken, und statt daſs beim gewöhnlichen Haspel für den Zustand des Gleichgewichts die Kraft zur Last sich umgekehrt wie die Längen der Kurbel und des Halbmessers der Welle verhält, so ist bei der Gegenwinde nur die halbe Differenz der Halbmesser der Welle in Rechnung zu nehmen. Heiſst also der Halbmesser des Maschinentheils, worauf die Kraft wirkt, $= R$, der Welle $= r$, für die Gegenwinde aber beide Halbmesser r und r', so ist für die ersteren und für die letztere

Fig. 188.

$$1)\ k\,R = Pr; \quad 2)\ k\,R = P\left(\frac{r - r'}{2}\right).$$

Gegenwinden werden dann mit Nutzen angewandt, wenn bei dem erforderlichen Verhältnisse der Kraft zur Last der Halbmesser der Welle zu klein und diese daher zu schwach werden würde, also wenn groſse Lasten auf geringe Höhen zu heben sind, indem für gröſsere Höhen ein zu langes Seil erforderlich wäre.

c) Ein vielfacher Gebrauch wird vom Rade an der Welle gemacht, wenn die Einrichtung so ist, daſs die Welle vertical steht, in welchem Falle die Maschinen den gemeinschaftlichen Namen Winde (*Ergata;* Cabestan; *Capstan*) erhalten. Hierher gehört die gewöhnliche *Winde*, eine verticale Säule, um welche das belastete Seil gewunden wird und an deren unterem Ende in der erforderlichen Höhe zwei oder mehrere horizontale Stangen befindlich sind, an denen die Arbeiter die Säule um ihre Axe drehn. Es bedarf nur angedeutet zu werden, daſs man statt dieser Stangen, wenn groſse Lasten zu überwinden sind, nur einen einzigen langen Baum durchsteckt, am Ende desselben einen Strick befestigt und diesen auf eine zweite Winde aufwickelt, auf diese Weise also zwei

Fig. 189.

Winden mit einander verbindet, desgleichen daſs man statt des Aufwindens des Seils diese Winde auch zur Bewegung einer Schraubenspindel, eines Getriebes oder auf sonstige vielfache Weise benutzen könne. Eine zweite Art ist die *Erdwinde* oder bewegliche Winde, die leicht an jeden erforderlichen Ort transportirt werden kann, wo man das Gerüst mit schweren Steinen belastet und dann vermittelst des Seils groſse Lasten fördert. Die am meisten gebräuchliche Species ist die *Schiffswinde*, auch *Cabestan* (Cabestan; *Capstan* in engerer Bedeutung) genannt, deren man sich hauptsächlich und fast ausschlieſslich auf den Schiffen zur Hebung der schwersten Lasten, namentlich der Anker, bedient, weswegen sie sehr stark und meistens von Eisen zu seyn und daher entfernt von der Magnetnadel am Vordertheil des Schiffs angebracht zu werden pflegen. Sie bestehn meistens aus einem starken, unten auf einem eisernen Zapfen ruhenden Kegel A, welcher bis an das Verdeck reicht, dort einen ziemlich breiten, die Oeffnung ganz bedeckenden, Ring hat, über welchem ein Cylinder oder meistens ein nach oben etwas verjüngter abgekürzter Kegel befindlich ist, dessen oberer Theil abermals einen mit vielen Löchern versehenen Kranz trägt, um die zur Ersparung des Raums bloſs eingesteckten Stangen aufzunehmen, vermittelst deren die Winde umgedrehet wird. Der zum Umwinden des Seils oder der Ketten dienende Theil hat selten die Höhe von nur 3 Fuſs, kann daher keine groſse Länge der ohnehin so dicken Seile ober Ketten aufnehmen, und diese werden daher meistens nur zwei- oder dreimal umgeschlungen und gleichzeitig wieder abgewickelt, indem entweder ein oder einige Arbeiter das abgewickelte Ende stark anziehn oder auf einen zweiten kleinern Cabestan winden.

Fig. 190.

Fig. 191.

d) Es giebt noch eine Menge zum Rade an der Welle gehörige und auf das nämliche Princip zurückkommende Maschinen, die wir hier gelegentlich mit namhaft machen können. Hierhin gehört 1) der *Krahn* oder *Kranich* (*Grus*, *Geranium*; Grue; *Crane*), dessen man sich allgemein da bedient, wo Schiffe ein- und ausgeladen werden. Es giebt zwei Arten desselben. Die eine Art, für geringere Lasten bestimmt, hat zum Aufwinden des Seils einen blossen Haspel, zuweilen auch ein Spillenrad oder selbst ein Laufrad, die andere ist mit Rad und Getriebe versehn, bei beiden ist ein

etwas gegen den Horizont geneigter Balken mit einer Rolle, über welche das Tragseil geht, und eine Einrichtung zur Umdrehung der ganzen Maschine, um die gehobenen Lasten auf kurze Strecken in horizontaler Ebene zu bewegen, nothwendiges Erfordernifs. Da die Welle bereits beschrieben und durch Zeichnungen hinlänglich erläutert ist, so beschränke ich mich auf die Einrichtung der gröfsern Krahne mit Rad und Getriebe, worauf dann dasjenige angewandt werden kann, was im folgenden Abschnitte über dieses mechanische Mittel vorkommen wird. Solche Krahne bestehn aus einer langen und starken eisernen Säule F, welche mit einem Zapfen in der Pfanne B ruht und oben im eisernen Ringe CC um ihre Axe drehbar ist. Das Rad O, durch das Getriebe P, die beiden Räder R und die Kurbel T in Bewegung gesetzt, dient dazu, den Krahn zu drehn und die Lasten vom Lande in die Schiffe zu laden oder umgekehrt. Die verticale Säule F', die geneigte E mit den Frictionsrollen a, a' zum Halten der Kette oder des Seils H, die schräge Strebe D nebst der Rolle m sind an sich klar. Die Hebung der Lasten geschieht dann durch die Kette, welche um die Welle G gewunden wird, die ihre Umdrehung durch das Rad I, dieses durch die Welle K, letztere durch das Rad L und dieses durch die vermittelst einer Kurbel umgedrehte Welle M erhält. Es fällt in die Augen, dafs auf diese Weise die Kraft ausnehmend vermehrt werden müsse, auch heben die Krahne ganz unglaubliche Lasten, namentlich der stärkste auf den Catharinen-Docks in London 39 Tonnen oder 780 Centner. Einer Art transportabler Kraniche, eigentlich einer Erdwinde, bei welcher die Welle durch Rad und Getriebe umgedreht wird, bedient man sich in England zum Ausreifsen der Baumstämme. Indem man nämlich das Gestell mit einer Kette an einem oder mehreren Baumstämmen unbeweglich befestigt, dann die Kette der Welle um den auszureifsenden Stamm festschlingt und sie vermittelst der Welle anzieht, so mufs bei hinlänglicher Kraft der eine der Stämme nachgeben und ausgerissen werden.

Fig. 192.

2) Der *Göpel* (Engin; *Gin*, abgekürzt statt *Engine*), meistens *Pferdegöpel* genannt, wird vielfach zum Aufwinden grofser Lasten aus der Tiefe, namentlich der Erze aus den Bergwerken, angewandt und meistens durch Pferde, zuweilen aber auch durch Wasser betrieben. Meistens besteht derselbe

aus einer um ihre Axe drehbaren Säule, dem *Spindelbaume*, oben mit einer Trommel, dem *Treibkorbe*, unten mit einer oder mehreren Hebelarmen, den *Kreuzbäumen*, versehn, vermittelst deren die Maschine zuerst nach der einen und dann nach der entgegengesetzten Seite abwechselnd umgedreht wird. Um den Treibkorb sind Seile oder Ketten nach entgegengesetzten Seiten gewunden, so daſs das eine auf und das andere gleichzeitig abgewickelt wird und die Tonne des einen aufsteigt, wenn die des andern herabsinkt. Indem hierdurch dem Zeitverluste des nutzlosen Herablassens vorgebeugt, auch die erforderliche Kraft durch das Gewicht der leer herabgehenden Tonne vermindert wird, beide Seile aber vom Treibkorbe aus in nahe horizontaler Richtung bis zur Oeffnung fortlaufen und dort über Rollen oder Walzen herabhängen, deren Höhe bis zur Mitte des ihrem Seile zugehörigen Theils des Treibkorbs reicht, so ist hiermit alles zweckmäſsig genug eingerichtet; allein bei sehr bedeutenden Tiefen kommt durch das Gewicht des einen Seils, woran die beladene Tonne (der *Treibsack*) vom tiefsten Puncte an aufgewunden werden soll, während die leere Tonne herabzugehn anfängt, ein bedeutendes Uebergewicht auf die eine Seite, nimmt allmälig mit der Verlängerung des Seils an der leeren Tonne und Verkürzung des an der beladenen ab, bis beide sich ausgleichen und die erforderliche bewegende Kraft $K = o$ wird; von hier an aber wird das Seil der leeren Tonne schwerer (die beiden, einander stets ausgleichenden, Tonnen vernachlässigt) und wächst als negatives K. Nach den Erfahrungen von Delius, Poda und andern nimmt v. Gerstner[1] das Gewicht eines Lachters solcher Seile zu 10 Pfund an, welches für 90 Lachter also 9 Centner, mithin so viel als das Gewicht der Erze in der Tonne beträgt, bei 150 Lachtern aber 6 Centner mehr, so daſs am Ende der Drehung $K = -6$ Centner und nach Ausleerung der gehobenen und Füllung der herabgelassenen Tonne beim Wieder-Aufwinden in entgegengesetzter Richtung $K = 24$ Centner beträgt. Zur Ausgleichung dieser sehr ungleichen Werthe von K pflegt man sich, um $-K$ unschädlich für die arbeitenden Pferde zu machen, des *Schlepphunds*, einer Schleife mit Steinen beschwert, zu bedienen, den

1 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 219.

man an den Kreuzbaum anhängt, damit nicht der Göpel gegen das Ende mit beschleunigter Bewegung von selbst umlaufe. Aus einer genauern, die Hindernisse der Bewegung berücksichtigenden, Berechnung ergiebt sich, dafs die zu bewegende Last für eine Tiefe von 150 Lachtern und die angegebenen Gröfsen zwischen 26 und — 4 Centner wechselt.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, hat man unten an den Tonnen noch ein Gegenseil angebracht, welches beim Aufsteigen derselben gehoben, beim Herabgehn auf dem Boden niedergelegt wurde, so dafs also stets an beiden Seiten gleiche Längen des Seils herabhingen, allein dieses ist für so bedeutende Höhen ein nutzloser Aufwand. Ein anderes Mittel bestand darin, die Treibkörbe konisch zu machen, wobei die zur Ausgleichung erforderlichen Halbmesser der Kegel leicht bestimmbar sind. Noch angemessener aber sind die *Spiralkörbe*, wie man sie durch v. Gerstner[1] nach einer von 1793 bis 1824 zu Krufsna Hora unausgesetzt gebrauchten Maschine beschrieben findet. Der ganze Göpel besteht zuerst aus diesem Korbe AA, dessen Höhe und verschiedene Halbmesser der Spirallinie durch Berechnung gefunden werden. Die Scheidewände der Spiralwindungen sind durch schwache Breter gebildet, in der Mitte aber befindet sich ein Cylinder B zum Aufwinden der leeren Ketten, wenn aus verschiedenen Tiefen Erze gefördert werden. Der *Wellbaum* ist oben viereckig, tiefer herab achteckig und mit 8 Streben C, C ... versehn, um den Korb in unverrückter Lage zu erhalten. Der *Kreuzbaum (Schwengbaum)* D und das Gerüst, worin der untere Zapfen der Welle ruht, sind von selbst klar, jedoch mufs die Einrichtung so gemacht werden, dafs man den Stift und die Pfanne, wenn beide sehr abgenutzt sind, herausnehmen und durch neue ersetzen kann. Damit die Seile oder Ketten nicht von den Spiralwindungen herabgleiten, sind die Rollen α und β angebracht, die von hinlänglicher Breite und einem solchen Abstande, als der beider Seile erfordert, in einem Rahmen befestigt werden, welcher sich an der Stange i K auf- und abwärts bewegt, indem der Kasten K hinlänglich beschwert

Fig. 193.

---

1 Abhandlung über die Spirallinie der Treibmaschinen u. s. w. von Franz Ritter v. Gerstner. Prag 1816. Dem Wesen nach in dem erwähnten Handbuche d. Mechanik Th. I. S. 223.

ist, um dem Rahmen mit den Rollen und den auf letztere drückenden Theilen des Seils das Gegengewicht zu halten. Die aus der Figur ersichtlichen Furchen in dem Rahmenstücke dienen dazu, damit der Rand der oberen Spirale des Korbes in sie, wie eine Schraube ohne Ende, eingreife und den Rahmen herabziehe. Da es sehr nöthig ist, die Maschine in jedem Augenblicke anzuhalten, so ist ein Bremswerk angebracht, nämlich zwei Bremsklötze, welche vermittelst eines geeigneten Mechanismus an den untersten Kranz des Treibkorbes hinlänglich fest angedrückt werden. Die übrigen Theile der Maschine sind aus der Figur klar, eine Hauptsache ist indeſs die Aufgabe, die Radien der einzelnen Spiralwindungen zu berechnen, welches vollständig durch v. Gerstner gezeigt worden ist. Aus einer Zusammenstellung der Werthe solcher Spiralwindungen mit denen auf einem abgekürzten Kegel geht aber hervor, daſs beide nur unmerklich, am wenigsten bei schweren Lasten aus tiefen Schachten, von einander verschieden sind, und es genügt daher für die Praxis, nur die Halbmesser der untersten, obersten und mittlern Windung zu berechnen und für die übrigen die konische Form zu wählen. Die Elemente dieser Rechnung werden übrigens aus der Länge und dem Gewichte der Seile oder Ketten nebst der Last der Ladung in den Tonnen entnommen, da die Gewichte der Tonnen stets einander compensiren; zur Auffindung der erforderlichen Kraft sind aber auch diese und der Reibungscoefficient zu berücksichtigen. Es ist dabei übrigens vortheilhaft, statt der Seile Ketten anzuwenden, weil man dabei nach gehöriger Prüfung gegen das Brechen derselben und die hieraus entstehenden Unfälle gesichert ist; zudem verstatten die Ketten leichter als die Seile, daſs sie von unten nach oben in demjenigen Verhältnisse, in welchem ihre Belastung durch ihr eigenes Gewicht zunimmt, dicker gemacht werden, woraus erklärbar ist, daſs die Treibketten in der That leichter sind, als die Seile.

3) Die *Treträder* oder *Laufräder* (Roue de carrière; *Tread-Mill*) und die *Tretscheibe* gehören unter die bekannteren Maschinen. Von den erstern gibt es zwei Arten; zuerst solche, bei denen das bewegende Gewicht an der äuſsern Seite des Radkranzes, und zweitens solche, bei denen es an der innern angebracht ist; weil jedoch die erste Art wegen groſser Unbequemlichkeiten jetzt wohl überall nicht mehr in

Anwendung kommt, so genügt es, hier nur die zweite kurz zu beschreiben. Solche Treträder bestehn aus einer horizontalen Welle mit zweimal 4, 6 oder 8 einander parallelen und 2 bis 4 Fuſs von einander abstehenden, in die Welle eingelassenen Speichen, deren äuſsere Enden durch zwei gleichfalls einander parallele Ringe verbunden sind. Werden dann über diese Ringe Breter genagelt und dem Erfordernisse gemäſs befestigt, so giebt dieses den Radkranz, in welchem Menschen oder Thiere sich bewegen und durch ihr Gewicht das Rad umtreiben. Damit diese nicht herausfallen, gehn die genannten Ringe hoch an den Speichen herauf, vortheilhafter aber werden an den Seiten zwei parallele Barrieren angebracht, zwischen denen das Rad umläuft, und zugleich wird in der einen von diesen eine geeignete Thür angebracht, um durch diese in den Radkranz zu gelangen. Der Halbmesser der für Menschen bestimmten Räder beträgt mindestens 8 Fuſs, damit die Arbeiter noch aufrecht darin stehn können, der für Thiere eingerichteten meistens 10 bis 12 und wohl noch mehr Fuſs.

Fig. 194.

Um das Verhältniſs der Kraft zur Last beim Tretrade zu finden, sey P die zu hebende Last, das bewegende Gewicht P′ wirke in a, also in der Richtung $B'a$, so ist nach dem allgemeinen Gesetze des Hebels $P.\ C'D = P'.\ C'B'$ oder $P : P' = B'C' : C'D$. Ferner sollte die Umdrehung des Rads durch $C'a$ geschehn, sie geschieht aber wirklich nur durch $B'C'$, mithin verhält sich die wirklich in Ausübung kommende Kraftäuſserung zur absoluten, wie $B'C' : C'a$; wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke CAB und $C'aB'$ ist also die Arbeit die nämliche, als ob der Mensch oder das Thier sein eigenes Gewicht auf der geneigten Ebene bewegt, und da diese Art der Kraftanwendung keineswegs die vortheilhafteste ist, so folgt hieraus, daſs auch die Treträder keineswegs mit Vortheil angewandt werden, da sie wegen ihrer Gröſse nicht überall Anwendung leiden, kostbar sind, stark gebaut seyn müssen, um die bedeutende Last zu tragen, dann durch ihr Gewicht die Reibung vermehren und bei zu hebenden Lasten, wenn die Menschen oder Thiere zu weit rückwärts treten, wohl gar so stark umzulaufen anfangen, daſs beide dadurch groſsen Beschädigungen ausgesetzt werden. Aus diesem Grunde ist es nothwendig, bei ihnen eine Vorrichtung, z. B. ein Bremswerk, anzubringen, um sie augenblicklich festzustellen. Weit vortheilhafter sind

Fig. 195.

daher die Spillenräder, hauptsächlich wenn man die Spillen seitwärts am Rade anbrächte und so einrichtete, dafs ein festsitzender Arbeiter sowohl die Hände als auch die Füfse zur Bewegung anwenden könnte.

Bei weitem am zweckmäfsigsten für die Anwendung ist das gegen den Horizont geneigte Tretrad oder die Tretscheibe. Sie besteht aus einer grofsen Scheibe, welche an einer lothrecht durch ihre Mitte gehenden Welle befestigt ist und durch eine Neigung der letztern gleichfalls eine Neigung gegen den Horizont erhält. In der Regel geht ihre tiefste Stelle bis zur Ebene des Fufsbodens herab, so dafs der Arbeiter oder, was wohl in der Regel stets der Fall zu seyn pflegt, das arbeitende Thier bequem auf dieselben treten und seinen Lauf beginnen kann. Um den Rand der Scheibe läuft entweder ein Kranz, oder besser wird blofs für die Länge des arbeitenden Thiers auf dem Fufsboden eine nach dem Umfange der Scheibe gekrümmte Barriere aufgerichtet, beides damit das Thier nicht von der Scheibe herabgleite. Die Maschine gewährt vor dem Tretrade den Vortheil, dafs die bewegende Kraft dem Centro näher rücken oder sich weiter davon entfernen kann, wodurch im ersten Falle das statische Moment verringert, die Geschwindigkeit aber vermehrt, im letzern aber das statische Moment vermehrt und die Geschwindigkeit verringert wird, in beiden Fällen wird aber durch die mittlere Geschwindigkeit der arbeitenden Menschen oder Thiere der gröfste Nutzeffect erhalten.

Fig. 196.

Auch hierbei wird das Verhältnifs zwischen Kraft und Last sehr leicht gefunden. Es wirke die Kraft im Puncte a, so wirkt sie in der verticalen Richtung ac. Wird sie nach dem Parallelogramme der Kräfte in aq und ab zerlegt, die Parallelen qc und cb als Hülfslinien gezogen, so ist ab auf die Ebene der Scheibe senkrecht, kann sie also nicht umdrehn, indem letzteres nur durch aq geschieht. Wird aq bis C und A verlängert, die horizontale BA und die verticale CB gezogen und so das Dreieck ABC dem Dreiecke $a$bc gleich gemacht, so folgt, dafs der umdrehende Theil der Kraft sich zur ganzen verhält, wie CB zu AC oder wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge, und es ist also genau, als ob das arbeitende Thier seine eigene Last auf der geneigten Ebene bewege. Wird das Gewicht eines Menschen zu 125 und seine Kraftanwendung zu 25 ℔., also zu 0,2 von jenem angenommen,

Fig. 197.

so mufs sin. CAB = sin. α = 0,2 oder = 11° 32′ seyn, und dieser Neigungswinkel ist daher der geeignete für die Tretscheibe bei der Anwendung der menschlichen Kraft. Das Gewicht eines Zugpferds setzt v. Gerstner = 7,5 Centner und seine mittlere Kraft = 1 Centner, woraus also folgt, dafs sin. $\alpha = \frac{1}{7,5}$ = 7° 40′ seyn müsse. Es ist übrigens keineswegs nothwendig, dafs die Lastthiere bei der Tretscheibe blofs durch ihr Gewicht wirken, vielmehr können sie auch ziehn, indem man die Waage an einem unbeweglichen Balken festbindet und sie daran spannt, wonach dann die Scheibe unter ihren Füfsen ausweicht. Dabei mufs der Neigungswinkel der Scheibe kleiner seyn und könnte selbst = 0 werden, ohne den Nutzeffect zu vermindern. Da die Kraftäufserung der Pferde durch das Steigen auf der geneigten Ebene sehr vermindert wird, so scheint die letztere Einrichtung Vorzüge darzubieten; es sind mir jedoch keine vergleichenden Versuche hierüber bekannt[1].

C. Rad und Getriebe.

Das Gesetz des Hebels kommt am einfachsten in Anwendung beim Rade und Getriebe, wovon man auf folgende einfache Weise zu einer klaren Vorstellung gelangen kann. Angenommen man habe die beiden Scheiben A und B von gleichen oder verschiedenen willkürlich grofsen Halbmessern, die sich im Puncte a berühren. Wird die eine derselben um ihre Axe gedreht, so läuft auch die andere um, und beider Peripherieen legen sich an einander so an, dafs gleiche Längen derselben fortwährend mit einander in Berührung kommen; die Zahl ihrer Umläufe wird also der Gröfse ihrer Umfänge umge- Fig. 198.

1) Eine bei allen Arten des Rads an der Welle vorkommende Untersuchung über den Druck auf die Zapfenlage übergehe ich Kürze halber. Zur Literatur verweise ich auf die Werke über Mechanik, von Leupold Theatr. mach. an bis auf die neuesten mehr erwähnten von v. Langsdorf, Borgnis, Christian, Hachette, Emerson, insbesondere v. Gerstner u. a. Für das Geschichtliche ist die Aufrichtung des grofsen Obelisks durch Fontano im J. 1687 mit 40 Winden bei einer Last von 9600 Centner, die Scheuchzer in Oedipus Aegyptiacus T. II. p. 70. und besser Nic. Zabaglia in: Castelli e Ponti Ital. e Lat. Romae 1743. fol. beschrieben, vorzüglich wichtig.

kehrt proportional seyn, und eben dieses Verhältnifs findet demnach auch rücksichtlich ihrer Geschwindigkeiten statt. Indem nun zugleich die Umfänge sich verhalten wie die Halbmesser, diese aber, so lange die Umdrehung erfolgt, wie Hebelarme auf einander wirken, so folgt hieraus, dafs wie beim Hebel für den Zustand des Gleichgewichts *die Lasten sich umgekehrt wie die Halbmesser*, bei der Bewegung aber *die Geschwindigkeiten sich umgekehrt wie die Lasten verhalten.* Wird der eine der Halbmesser unendlich lang, so dafs jeder endliche Bogentheil des Umfanges mit einer geraden Linie zusammenfällt, so erhält man eine gerade Stange, die an einem Cylinder oder einer Rolle fortgeschoben diese um ihre Axe dreht. In der praktischen Anwendung kommen beide genannte Arten von Scheiben vor, nämlich bei Walzen, welche mit ihren Oberflächen einander berührend gemeinschaftlich umlaufen, und bei Zeigern an einem Cylinder, welcher durch einen an seiner Oberfläche angedrückten Stab um seine Axe gedreht den auf ihm festgesteckten Zeiger umdreht, eine für feine Bewegungen sehr zweckmäfsige Vorrichtung, deren man sich in geeigneten Fällen dreist bedienen kann, da die Reibung am möglichst polirten Zapfen allezeit geringer ist, als an der absichtlich rauh gefeilten, oder noch besser matt geschliffenen, Oberfläche der Stange und Rolle, die durch einen längern Hebelarm auf einander wirken. Einen solchen Mechanismus hat unter andern Mortimer bei seinem Pyrometer und der hiesige Mechanicus Schmidt an den bekannten Dynamometern zur feinen Bewegung der Zeiger angebracht.

In den meisten Fällen würden jedoch solche Rollen oder Walzen, insbesondere bei erforderlicher grofser Kraftanwendung, über einander hingleiten, welches durch gröfsere Rauheit derselben verhindert werden könnte. Am vortheilhaftesten würde diese Rauheit seyn, wenn die Erhabenheiten der einen Fläche genau in die Vertiefungen der andern fielen, wobei der Natur der Sache nach deren Höhe und Tiefe gleichgültig ist, wenn nur die Flächen beider genau mit einander in Berührung bleiben. Indem dieses künstlich genau hergerichtet wird, erhält man das Rad und Getriebe (*Rota cum rotula;* Roue et pignon; *Wheel and pinion*), welche vereint ein Räderwerk (*Systema rotarum*; Rouage, Système de roues et de pignons; *Wheelwork*) bilden. Die Erhabenheiten sind entweder in die

Peripherie des Rads eingeschnitten (*Dentes*), oder bestehen aus eigenen, in dieselbe eingelassenen Kammen (*Paxilli*, Aluchons), und heifsen im Allgemeinen Zähne (Dents; *Teeth*), daher ein gezahntes Rad (*Rota dentata;* Roue dentée; *Toothed wheel*); die mit Vertiefungen versehenen Walzen, die jedoch zuweilen gleichfalls gezahnte Räder sind, heifsen Getriebe, Triebstöke, Treibstöcke, Treib- und Trieb-Stecken, Trillinge (*Rotulae;* Pignons; *Pinions*), werden jedoch bei den folgenden Untersuchungen stets Getriebe von mir genannt werden.

Die Räder sind fast ohne Ausnahme kreisförmig und bestehn aus einer auf ihrer Welle festsitzenden Scheibe, oder sind durchbrochen und mit einer beliebigen Menge, nicht leicht weniger als vier, Speichen versehn, auf welchen der Kranz, ein Ring, zur Bildung des Radumfanges, befestigt ist. Es giebt drei Arten von Rädern, das *Kronrad* (Roue à couronne; *Crown wheel*), das *Sternrad* oder *Stirnrad* (Roue platte, *Spur wheel, spur gear*) und das *konische* Rad (*Bevelled wheel*), die sich nach der Richtung der Zähne unterscheiden. Bei dem ersten stehn diese nämlich auf dem Radkranze und gegen die Axe der Welle perpendiculär, beim zweiten stehn sie auf der Seite des Radkranzes vertical und mit der Axe parallel, beim dritten stehn sie schräg und bilden daher einen Kegel. Bei der Anwendung der Sternräder bleibt die Bewegung stets in der nämlichen Ebene, die Verbindung mit Kronrädern verstattet eine Uebertragung in eine andere um 90° verschiedene, die Anwenduog der konischen Räder eine solche in jedem beliebigen Winkel, wie sich aus der Figur ergiebt. Die Zähne des einen Rads greifen entweder in die Zähne eines andern ein, oder in ein eigenes kleineres Getriebe, welches entweder aus einem mit Furchen versehenen Cylinder besteht, oder aus zwei parallelen, in einem gewissen Abstande von einander befestigten, Scheiben (tourtes, tourteaux) mit lothrecht zwischen beiden feststehenden *Spillen* (*Triebstecken;* fuseaux), welche Vorrichtung im Ganzen auch Getriebe, speciell aber *Triebstock* (*Laterna*; Lanterne; *Lanterne*) heifst. Wenn wir vorläufig annehmen, dafs die Zähne und Getriebe genau in einander greifen, so wird das oben gegebene allgemeine Gesetz der Räder nicht aufgehoben, vielmehr ist die geometrische Grenze der mit ihren Oberflächen an einander umlaufenden Cylinder in der Mitte der Höhe der Erhabenheiten, und die Länge der

Fig. 199 bis 201.

zur Berechnung kommenden Hebelarme ist also durch die Länge der Halbmesser des Rads und des Getriebes bis an den Anfang der Zähne, vermehrt um die halbe Höhe der letztern, gegeben. Man kann der Leichtigkeit wegen die beiden Summen durch R und r ausdrücken, auch ist es bei hinlänglich genauer Arbeit der Räder und Wellen gleichgültig, ob man die Radien beider vom Centrum bis an den Anfang, die Mitte oder das Ende der Zähne mifst, sobald nur bei beiden die nämliche Norm statt findet.

Nach dem bisher Mitgetheilten ist es gleichgültig, wie viele Zähne man den Rädern giebt, jedoch dürfen sie nicht so weit von einander abstehn, dafs sie nicht zeitig genug in einander greifen, und da aufserdem ihre Wirkung in dem Momente am stärksten ist, in welchem ihre Berührungslinie verlängert durch beider Mittelpuncte geht, so müssen sie einander möglichst nahe seyn, damit die Angriffspuncte zweier benachbarter Zähne über und unter dieser Linie keinen zu grofsen Abstand von derselben haben. Die hiernach vortheilhafte Nähe derselben findet ihre Grenze in der nöthigen Stärke der Zähne, die zu dünne gemacht den erforderlichen Widerstand nicht leisten würden, wobei sich von selbst versteht, dafs die Zähne und die Zwischenräume (creux) am Radkranze einander gleich seyn müssen, obgleich man in der Ausübung die Dicke der Zähne um sehr wenig kleiner zu machen pflegt. Hiernach wird dann auch die Zahl der Zähne oder Stäbe des Getriebes bestimmt. Weniger als 4 derselben können überall nicht stattfinden, und schon bei dieser Zahl beträgt der Abstand des fortgetriebenen und des wieder ergriffenen Zahns von der Linie durch die Mittelpuncte beider Räder 45°, wodurch ein grofser Theil der Kraft verloren geht, und man sieht daher 5 Zähne als das Minimum an, wählt aber als solches meistens 6. Uebrigens folgt aus der Theorie, wonach die Räder und Getriebe als Cylinder betrachtet werden, die sich mit ihren Oberflächen über einander wälzen, wonach also die Erhabenheiten des einen genau in die Vertiefungen des andern fallen müssen, auf welche Weise ein Räderwerk für den jedesmal vorliegenden Zweck eingerichtet werden mufs. Es handelt sich nämlich nach dem Gesetze des Hebels jederzeit entweder um die Vermehrung der Kraft oder der Geschwindigkeit, welche beide einander entgegengesetzt sind. Soll eine von diesen um das

n fache vermehrt werden, so mufs das eine Rad 1 mal, das andere $\frac{1}{n}$ mal umlaufen, mithin der Halbmesser des einen $= 1$, des andern $= \frac{1}{n}$ seyn. Wäre z. B. $n = 10$, so wäre der Halbmesser des Rads $= 1$, des Getriebes $= \frac{1}{10}$, oder besser jener $= 10$, dieser $= 1$, woraus dann folgt, dafs bei so grofsen Verhältnissen die Zähne des Getriebes im Minimum $= 6$, die des Rads $= 60$ zu nehmen wären, obgleich auch beide $= m$ und $= m. \frac{1}{n}$ genommen werden könnten. Ist der Werth von n zu grofs, z. B. $= 100$, so würde das Rad im Verhältnisse zum Getriebe zu grofs, und es lassen sich dann mehrere Räder mit einander verbinden, um ein sogenanntes Räderwerk zu erhalten. Indem aber für jedes neue Rad mit seinem Getriebe das nämliche Verhältnifs wiederkehrt, so wird das Verhältnifs beim Räderwerke durch die Producte aller Räderhalbmesser und aller Getriebehalbmesser gegeben, also, wenn jene durch R, diese durch r bezeichnet werden, durch $R'. R'' \ldots\ldots R^n$ und durch $r'. r'' \ldots\ldots r^n$. Es ist also für den Zustand des Gleichgewichts, und ohne Rücksicht auf die Hindernisse der Bewegung, wenn durch die Wirkung der Getriebe auf die Räder eine gröfsere Kraft erzeugt werden soll, das Verhältnifs zwischen Last und Kraft oder, was einerlei ist, zwischen beiden Lasten oder beiden Kräften

$$P : P' = R'. R''. R''' \ldots\ldots R^n : r'. r''. r''' \ldots r^n$$

und zwischen beiden Geschwindigkeiten

$$V : V' = r'. r''. r''' \ldots r^n : R'. R''. R''' \ldots R^n.$$

Da beide einander entgegengesetzt sind, so folgt, dafs durch den Mechanismus der Räder und Getriebe weder an Kraft noch an Geschwindigkeit *absolut* gewonnen, sondern allezeit durch die Hindernisse der Bewegung ein Verlust erzeugt wird. Könnte aber ein Mensch eine Last von 25 ℔ in 1 Secunde 1 Fufs hoch heben, so vermag er vermittelst des Räderwerks, wenn $\frac{R . R'}{r . r'} = 60$ ist, in 1 Minute 1500 ℔ auf dieselbe Höhe zu heben, die Hindernisse der Bewegung einstweilen nicht berücksichtigt.

Nach den bisherigen Untersuchungen wären bei der Anlage der Räder und Getriebe blofs die Halbmesser zu berücksichtigen, wenn die geforderte Vermehrung der Kraft oder der

Geschwindigkeit gegeben ist, und sie wären ganz willkürlich, wenn eine verticale Bewegung in eine horizontale oder umgekehrt durch Verbindung eines Sternrads mit einem Kronrade oder zweier konischer Räder erreicht werden soll, indem gerade die letztern hierzu vorzüglich geeignet und daher neuerdings so sehr in Aufnahme gekommen sind. Allein es ist bereits erwähnt worden, daſs die Zähne sowohl als auch die Triebstöcke eine gewisse Stärke haben müssen, um dem zu überwindenden Widerstande zu widerstehn, und die Construction der Räderwerke geht daher zuweilen von diesen aus. Kommt diese letztere Rücksicht nicht in Betrachtung, wie z. B. bei den feinen metallnen Räderwerken, so richtet der Künstler das Rad und Getriebe so her, daſs letzteres wenigstens 6 Triebstöcke erhalten kann, hiernach also, wenn sein Halbmesser $= \frac{1}{n}$ ist, der des Rads $= 1$ wird. Die Peripherieen werden dann von selbst $= \frac{2\pi}{n}$ und $= 2\pi$, sie werden für m Triebstöcke in 2m und 2nm gleiche Theile vermittelst des Cirkels oder der Theilmaschine getheilt, wovon m und mn Theile ausgeschnitten werden und eben so viele als Zähne stehn bleiben. Der umgekehrte Fall findet statt, wenn die Dicke der Triebstöcke, Kammen oder Zähne zuvor durch das Erforderniſs ihrer Stärke bestimmt werden muſs. Ist diese Dicke $= b$, so wird mit Beibehaltung der obigen Werthe 2mb die Peripherie des Getriebes und 2nmb die des Rads, mithin der Halbmesser von jenem $= \frac{mb}{\pi}$, von diesem $= \frac{nmb}{\pi}$; zur Bestimmung der Werthe von b findet man aber die nöthigen Thatsachen aus den Untersuchungen über die relative Festigkeit der Körper[1].

Aus dem Gesagten geht hervor, daſs $\frac{R}{r} = n$ und n eine ganze Zahl seyn muſs. Hiernach müssen aber die nämlichen Zähne mit den nämlichen Triebstöcken bei jeder wiederbeginnenden Umdrehung des Rads wieder zusammenfallen, woraus jedoch folgt, daſs wenn ein Zahn oder Triebstock zu sehr angreifend auf einander wirken, diese sich zuerst oder zu bald

---

1 S. *Cohaesion.* Bd. II. S. 148 ff.

abnutzen. Man wollte dieses vermeiden, und schlug daher vor, dem Rade einen Zahn mehr zu geben, also $mn+1$, wonach also die nämlichen Zähne und Triebstöcke erst nach $mn+1$ Umläufen mit einander wieder zur Berührung kommen. Diesen überschüssigen Zahn nennen die Engländer bei den Mühlenwerken *hunting cog*. Man hat hiergegen eingewandt, daſs es nicht wohl ausführbar sey, solche geeignete Primzahlen unter sich zu finden, allein da es in den meisten Fällen nicht nothwendig ist, das Verhältniſs der Halbmesser bis auf eine solche Kleinigkeit mit absoluter Schärfe zu bestimmen, so darf man nur auf die einfachste Weise einen Zahn mehr nehmen und hierfür den Halbmesser um $\frac{1}{nm}$ vergröſsern. Wären also z. B. ein Rad mit 60 Zähnen und ein Getriebe mit 6 Triebstöcken gefordert und der Halbmesser des Rads = 2 Zoll, so müſste er für 61 Zähne = 2 Z. $\frac{2}{5}$ Lin. werden. Ist das Verhältniſs der Kräfte und Lasten gegeben, so kann der hieraus erwachsende Unterschied vernachlässigt werden, soll aber das Räderwerk zur genauen Messung, z. B. der Zeit bei den Uhren, der Wegeslängen bei den Hodometern, der Vibrationsmengen bei den Sirenen dienen, so treten bedeutende Hindernisse in den Weg; denn wollte man auch statt einer fortlaufenden Reihenfolge von 60 zuerst 61 und dann 59 und so fort abwechselnd wählen, so bliebe dennoch stets ein Unterschied, da die Halbmesser sich wie die Anzahl der Zähne verhalten und die fortlaufenden Potenzen von 60 folgende sind: 3600, 216000, 12960000 ....., die Producte der wechselnden Zahlen 61 und 59 aber 3599, 219539, 12952801 u. s. w. Inzwischen ist die Besorgniſs für eine solche ungleiche Abnutzung bei feinern und gut gearbeiteten Räderwerken unbegründet, das vorgeschlagene Mittel zur Vermeidung derselben kann also da unberücksichtigt bleiben, wo es auf genaue Messungen ankommt, jedoch kann man dasselbe immerhin bei gröbern Maschinen, als Mühlen u. s. w. in Anwendung bringen.

Uebrigens wird eine der genannten Vorrichtung ähnliche sehr zweckmäſsig zur Vervielfältigung des Zählens benutzt, indem man zwei Räder, bei denen die Anzahl der Zähne um einen einzigen verschieden ist, in ein gemeinschaftliches Getriebe eingreifen läſst. Daſs dieses ohne Schwierigkeit ge-

schehn könne, geht aus der obigen Angabe hervor, jedoch dürfen die Räder nicht zu klein und insbesondere nicht mit zu wenigen Zähnen versehn seyn. Hätte also ein Rad bei 2 Zoll Halbmesser 60 Zähne von 1 Lin. Länge, und würde es mit einem andern von 61 Zähnen an der nämlichen Welle vereint, so betrüge des letztern Halbmesser $\frac{2}{5}$ Linien mehr, und wenn seine Zähne also mit ihrer ganzen Länge in das Getriebe eingriffen, so würden die des erstern nur mit $\frac{3}{5}$ Linie Länge eingreifen, also immerhin genügend, um durch dasselbe umgetrieben zu werden. Bei jedem Umlaufe beider oder vielmehr bei 10 Umläufen des Getriebes bleibt aber das letztere um einen Zahn zurück und beide kommen erst nach 61 Umläufen wieder zu ihrer anfänglichen Lage über einander. Soll also diese Vorrichtung zum Zählen benutzt werden, so legt man das Rad mit n Zähnen unten, läſst die Spindel desselben durch das zweite und eine feste Scheibe gehn, und versieht sie mit einem Zeiger, welcher auf der Scheibe die Theile des Umlaufs anzeigt. Das darüber befindliche Rad von $n + 1$ Zähnen wird mit einer Röhre zum Durchlassen der genannten Spindel versehn, auf diese Röhre wird ein Zeiger gesteckt, welcher entweder über der erwähnten Scheibe oder unter derselben, im letztern Falle hervorragend, über einem getheilten Ringe bei jedem Umlaufe auf einen der $n + 1$ Theile zeigt und hierdurch die Zahl der gemeinschaftlichen Umläufe angiebt. Am leichtesten ist es, der nämlichen Scheibe, durch deren Centrum die genannte Röhre und Spindel hervorragen, eine äuſsere Eintheilung zu geben, auf welcher der auf der Spindel befindliche Zeiger willkürliche, aus dem Zwecke der Maschine zu bestimmende Theile der Umdrehung des kleinern Rads angiebt und zugleich eine innere, $n + 1$ Theile enthaltende und nach der entgegengesetzten Seite fortlaufende, auf welche der auf der Röhre steckende Zeiger hinweist. Solche Räder nennen die Engländer *Hunting wheels*.

Dem angenommenen Principe nach sollen Rad und Getriebe in steter Berührung gleichmäſsig nach entgegengesetzten Seiten um ihre Axen umlaufen, als ob die vorgestellten Cylinder mit ihren Oberflächen über einander sich hinwälzten. Soll dieses wirklich geschehn, so müssen die Zähne mit den Triebstecken in steter Berührung bleiben, weil sonst bei einem entstehenden Zwischenraume der Zahn diesen übersprin-

gen und mit hörbarem Geräusche an den nächsten Triebstock anschlagen würde. Letzteres geschieht wirklich bei allen schlechtern Räderwerken und erzeugt das sogenannte *Schlottern*, welches bei den am besten gearbeiteten gar nicht oder mindestens sehr schwach gehört wird, bei zunehmend minder vollendeter Arbeit aber zuletzt bis zum unangenehmsten Geräusche wächst.

Sind die Räder und Getriebe auf die oben angegebene Weise verfertigt, so würden die Zähne genau in die Zwischenräume passen, ohne im mindesten zu wanken, allein dann müſsten die erstern bei anfangender Drehung zerbrechen. Denken wir uns nämlich einen Zahn in einer solchen Lage, daſs die durch die Mittelpuncte beider Räder gehende Linie ihn genau halbirt, so sind die beiden nächsten nur etwa zur Hälfte in die ihnen zugehörigen Vertiefungen eingedrungen, und der eine tritt auf gleiche Weise aus derselben heraus, als der andere tiefer eindringt, wobei die Oberflächen aller drei Zähne auf denen der Getriebe sich fortwälzen müssen, wenn das Schlottern nebst der nachtheiligen Reibung ihrer Oberflächen auf einander vermieden und ein gleichzeitiger Angriff aller drei Zähne erzeugt werden soll. Es ist sonach eine wichtige Aufgabe der Mechanik, diejenige Form der Zähne aufzufinden und in der Praxis wirklich herzustellen, welche diesen Bedingungen genügt.

Theoretische Untersuchungen hierüber sind schon seit langer Zeit angestellt worden. Nach Leibnitz[1] war Olaus Römer der erste, welcher auffand, daſs hiernach die Gestalt der Zähne eine epicykloidische seyn müsse; genauere Untersuchungen haben nachher de la Hire[2], noch gründlichere L. Euler[3], Camus[4], Kaestner[5], insbesondere Eytelwein[6] und andere[7] angestellt. Am ausführlichsten ist diese Aufgabe des Ein-

---

1 Miscell. Berolin. T. I. p. 315.

2 Traité de Mécanique. Par. 1665. Mém. de l'Acad. depuis 1666. jusqu' à 1699. T. IX. Mém. de Math. et Phys. Par. 1694. 4.

3 Nov. Comm. Pet. T. V. p. 299. T. XI. p. 207.

4 Mém. de l'Acad. 1733. p. 117. Hist. p. 81.

5 Comm. Soc. reg. Gott. 1781 u. 1782. T. IV. u. V.

6 Handbuch der Statik u. s. w. Bd. I. S. 311.

7 Encyclop. Brit. Suppl. Art. Machinery, Rees Cyclopaedia Art. Wheelwork. Airy in Trans. of the Cambr. Phil. Soc. T. II. p. 277.

greifens der Zähne in die Getriebe (*Engrenage*) mit Rücksicht auf die verschiedene Gröfse und Gestalt der Räder und der Trillinge behandelt durch HACHETTE[1]. Da es hier nicht der Ort ist, die Resultate dieser Bemühungen mitzutheilen, so bemerke ich blofs, dafs einige die zur Cykloide gehörigen Curven, andere die Kreisevoluten, noch andere sonstige krumme Linien als die geeignetsten für die Gestalt der Zähne aufgefunden haben. In der praktischen Anwendung ist es nur selten und zwar blofs bei grofsen Rädern und dicken Zähnen möglich, ihre Gestalt genau aufzuzeichnen und nach solchen Vorzeichnungen auszuarbeiten, wie unter andern LEUPOLD[2] und BEYER[3] lehren; ein verwerflicher Grundsatz ist es aber, die Herstellung der geeigneten Gestalt vom eignen allmäligen Abnutzen zu erwarten, vielmehr müssen die Zähne gleich anfangs so gemacht seyn, dafs die geringste Abreibung derselben statt findet, wodurch sich eben die Geschicklichkeit des Künstlers erprobt. Für die feineren Räderwerke, namentlich der Uhren, gebraucht man solche stählerne Getriebe (*Triebstähle*), in denen 5, 6 oder mehr Furchen bereits hergestellt sind, indem man ein Stück von erforderlicher Länge abschneidet, den übrigen Theil zur Spindel von gehöriger Dicke ab rundet und den zum Getriebe bestimmten Theil stehn läfst. Wenn man diese nicht anwenden kann, namentlich bei allen konischen Rädern, so werden die Zähne und Getriebe auf die angezeigte Weise ausgeschnitten oder ausgesägt und erhalten hierdurch ebene Flächen. Alsdann werden sie zur gehörigen Form abgerundet (ausgewälzt), wozu man sich zuweilen, am häufigsten bei den Uhren, eigener Maschinen bedient[4], in

---

Eine noch nicht vollendete ausführliche Abhandlung über dieses Problem von A. MÜLLER findet man in G. LXXXIX. 1 ff.

1 Traité élém. des Machines. Par. 1828. 4. p. 375 bis 394.

2 Theatrum mach. generale. §. 85.

3 Mühlenschauplatz Cap. VII. §. 15. Am vollständigsten findet man die durch hinlänglich grofse Zeichnungen erläuterten Regeln in HACHETTE's genanntem Werke; eine sehr kurze Anweisung von PONCELET in CRELLE's Zeitschrift für Math. Bd. V. S. 416.

4 Solche Maschinen zum Einschneiden und Auswälzen der Zähne für Uhrräder werden hauptsächlich in Genf angewandt und verfertigt; eine Beschreibung der von ihm selbst erfundenen oder verbesserten giebt PETER LECOUNT in Edinb. Journ. of Science Nr. VI. p. 340.

den meisten Fällen ist es jedoch eine Forderung an die Geschicklichkeit des Künstlers, durch seine Arbeit aus freier Hand die geeignetste Form zu erzeugen. Bei den aus parallelen Scheiben mit Triebstöcken versehnen Getrieben (*Lanternes*) sind die Stäbe meistens kreisförmig rund, doch giebt man ihnen auch andere Gestalten, und macht sie möglichst kurz, um ihre Biegungen zu verhindern [1]. Wegen der zunehmenden Vervollkommnung der Eisenfabrication werden die meisten großsen Räder gegenwärtig aus Eisen verfertigt, und es laufen dann zwei Räder von ungleichen Durchmessern mit ihren Zähnen in einander greifend um, wonach also die Zähne beider eine gleiche Gestalt haben müssen.

Räder und Getriebe kommen beim praktischen Maschinenwesen so häufig vor, daſs es zweckwidrig seyn würde, selbst bloſs den geringsten Theil derselben mit ihren Eigenthümlichkeiten hier umständlich zu beschreiben, vielmehr scheint es mir genügend, nur einige der allgemeinsten Anwendungen namhaft zu machen, da man ohnehin von diesen leicht auf andere schlieſsen kann, deren man für specielle Mechanismen bedarf.

Nach dem allgemeinen Principe vom Räderwerke sind die Oberflächen der Zähne und Getriebe mit einander in genauer Berührung, und eine am einen Ende erzeugte Bewegung müſste daher sogleich bis zum andern fortgepflanzt auch hier statt finden, kann aber so langsam werden, daſs ihre Wahrnehmung erst nach Verlauf einer beträchtlichen Zeit und Zurücklegung eines bedeutenden Raums des ersten bewegten Maschinentheils in die Augen fällt, wogegen man aber, die Hindernisse der Bewegung nicht berücksichtigt, mit der geringsten Kraft die gröſste Last am andern Ende zu bewegen vermögen würde. Diesen Satz drückte bereits Archimedes in einem Beispiele aus, denn Athenaeus [2] erzählt, er habe eine Maschine

1 Specielle Untersuchungen hierüber findet man in Langsdorf Erläuterung höchst wichtiger Lehren der Technologie. Heidelberg 1807. 8.

2 Deipnosophisticorum L. V. Diese als die vierzigste mechanische Erfindung des Archimedes benannte Aufgabe wird auch von Hero und Pappus erwähnt, jedoch giebt ersterer das Verhältniſs der Last und Kraft zu 1000 und 5 Talenten, letzterer zu 160 und 4 Talenten an, und die Maschine soll auch eine Schraube ohne Ende enthalten.

erfunden, vermittelst deren der König Hiero mit einer Hand ein ganzes Schiff hob. Als der König sich hierüber wunderte, sagte er sein bekanntes: *δύς μοι που στῶ*, gieb mir einen festen Standpunct (außerhalb der Erde), so will ich die ganze Erde in die Höhe heben. Man hat diese sogenannte Maschine des Archimedes oft zur Erläuterung der Theorie des Räderwerks hergestellt, bestehend aus zwei Stirnrädern, einem Trilling und einer Kurbel, vermittelst deren mit 1 ℔ Kraft 100 ℔ Gewicht im Gleichgewichte erhalten werden; es könnten aber 25 Räder mit 25 ℔ Gewicht hinreichen, um die ganze Erde von ein Trillion ℔ im Gleichgewichte zu erhalten, zur wirklichen Hebung würde aber ein Mensch unausgesetzt arbeitend 300000 Jahre bedürfen, um nur die Höhe von $\frac{1}{50000}$ Zoll, also eine mit unbewaffnetem Auge unsichtbare Größe zu erhalten. Hiernach gäbe es also eine Bewegung, zwar nicht unendlich klein, aber kleiner als daß sie wahrnehmbar wäre. Es war wohl ohne Nutzen, wie Sturm[1] gethan hat, zu zeigen, daß die wirkliche Ausführung dieses Problems wegen der Hindernisse der Bewegung unmöglich sey[2].

Nimmt man die Maschinen, bei denen Rad und Getriebe mehr oder minder einfach in Anwendung kommen, im weitesten Umfange, so machen die Räder mit geraden, zuweilen auch gekrümmten, zackenartigen Spitzen oder Zähnen, die in die Glieder einer Kette, unter andern namentlich der von Vaucanson erfundenen, in der Zeichnung dargestellten eingreifen, den Uebergang vom Rade an der Welle zum Rade mit Getriebe, indem selbst auch kleinere oder größere Räder durch andere vermittelst eines umgeschlungenen Riemens, seltener eines Seils oder einer Darmsaite, umgetrieben werden, eine in sehr vielen Fällen geringerer Kraftäußerung vorzüglich zu empfehlende Vorrichtung. Dahin gehören ferner die Daumen der Wellen zum Heben der Hammerschwänze bei Ham-

Fig. 202.

1 Dissert. Terra machinis immota. Altorf 1691. 4.

2 Vergl. P. Bossut Geschichte d. Math. übers. von Reimer. Hamb. 1804. 2 T. 3. T. I. p. 154. V. Gerstner Handbuch d. Mech. Th. I. S. 77. hat die Berechnung für einen bloßen Hebel angestellt, findet aber das Gewicht der Erde über zwei und achtzig Tausend Trillionen Ctn. und die Länge des langen Hebelarms fast zweimalhunderttausend Billionen Meilen für 150 ℔ Kraft und 1 Zoll Länge des kürzern Arms.

merwerken oder der Stampfer bei den verschiedenen Stampfwerken der Oelmühlen, Papiermühlen, Pulvermühlen u. s. w. In der Regel geschieht die Hebung nur durch einen einzigen Daumen, deren aber zuweilen bei langsamerer Umdrehung zwei oder mehrere in der nämlichen verticalen Ebene auf dem Umfange der Welle befindlich sind, so daſs bei einem Umlaufe der letztern die nämlichen Hämmer oder Stampfer zwei- oder mehrmals gehoben werden. Sind mehrere neben einander stehende Hämmer oder Stampfer durch die nämliche Welle zu heben, so vertheilt man die Daumen gleichmäſsig auf eine um die Welle gezogene Schraubenlinie, damit jederzeit der nämliche Kraftaufwand erfordert werde. Hierhin gehören ferner die gezahnten Stangen, die durch ein Rad oder ein Getriebe mit Zähnen gehoben werden, indem letzteres nur zum Theil oder ganz oder mehrmals umgedreht wird, um die Stange bis zur erforderlichen Höhe zu heben, worauf es dann aber rückwärts bewegt werden muſs, wenn die Stange wieder zu ihrer vorigen Lage herabgehn soll. Für solche Mechanismen genügen zuweilen einzelne, in gröſsern Zwischenräumen auf der Stange aufsitzende konische Zähne, die in ähnliche in der Peripherie des Rads befindliche Vertiefungen eingreifen. Ein solcher Mechanismus ist leicht und mit geringen Kosten darstellbar, im Ganzen aber nicht vorzüglich. Soll eine Stange gehoben werden und während der fortdauernden Bewegung des Rads oder des Getriebes durch ihr eigenes Gewicht wieder herabfallen, so darf man nur die Zähne von einem gewissen Theile des Umfangs wegnehmen. Bei einer abwechselnd vor- und rückwärts gehenden Bewegung bedarf es oft keines ganzen gezahnten Rads, sondern ein angemessener Bogentheil desselben reicht dazu hin und die Zeichnung genügt vollständig, um diese Arten von Mechanismen zu erläutern. Eine reciprocirende Bewegung kann auch durch ein stets nach derselben Seite umlaufendes gezahntes Rad erzeugt werden, wenn man es zwischen zwei verbundenen parallelen, inwendig gezahnten Stangen anbringt, die durch einen erforderlichen Mechanismus zum Eingriffe in die Radzähne gebracht werden, wie die Figur eine allgemeine Construction solcher Vorrichtungen angiebt. Endlich würde es überflüssig seyn, eine Beschreibung der vielfachen *Roſsmühlen* mitzutheilen, bei denen im Allgemeinen eine verticale

Fig. 203.

Fig. 204.

Fig. 205.

Fig. 206.

Fig. 207.

Welle mit einem Getriebe, das in ein horizontales Rad eingreift, oder mit einem horizontalen Rade, dessen Zähne ein Getriebe mit horizontaler oder verticaler Welle in Bewegung setzen, durch die Kraft angespannter Pferde umgedreht wird.

Zum Beschlufs wird es erlaubt seyn, nur noch zwei Arten von Maschinen etwas ausführlicher zu beschreiben, bei denen das Rad und Getriebe hauptsächlich in Anwendung kommt und wovon ein sehr häufiger Gebrauch gemacht wird, nämlich zuerst die *Wagenwinde* und dann die Uhren. Unter den Winden gehört hierher blofs die deutsche oeer gemeine Winde, welche am einfachsten ohne Vorgelege, meistens aber, der stärkern Kraft wegen, mit Vorgelege gemacht wird[1]. Die Winde mit Vorgelege, aus welcher die Construction der einfachen leicht zu entnehmen ist, besteht aus einem massiven hölzernen, durch eiserne Bänder hinlänglich verstärkten, Parallelepipedon mit zwei oder meistens vier starken eisernen Zacken im Boden zur Verhütung des Gleitens. Am obern Theile derselben auf der breitern Seite befindet sich eine Kurbel mit Handgriff, welche durch die Hand des Arbeiters umgedreht wird, wodurch gleichzeitig die Umdrehung des kleinen, auf der eisernen Axe der gleichfalls aus Eisen verfertigten Kurbel eingeschnittenen Getriebes D erfolgt. Die Zähne desselben greifen in die des Rads (*Vorgeleges*) C, welches gleichfalls mit dem Getriebe B aus einem einzigen Stücke Eisen gemacht ist, letzteres greift in die gezahnte Stange A und hebt diese zusammt der auf der obern gezackten Gabel oder auf einem am untern Ende dieser Stange befindlichen, aus der Winde hervorstehenden Arme ruhenden Last in die Höhe. Betragen die Halbmesser der Kurbel 8 Zoll, des Rads 3 Zoll, der beiden Getriebe 1 Zoll, so ist die Kraftvermehrung $= 3 \times 8$, und es hebt also ein Mann mit einer für so kurze Dauer leicht anwendbaren Kraft von 50 ℔ nicht weniger als 1200 ℔, wenn die Reibung nicht berücksichtigt wird. V. Gerstner[2] nimmt diese $= \frac{1}{14}$ der Last, und wenn wir sie bis $\frac{1}{12}$ vermehren, so gestattet doch eine solche Winde das Heben einer Last von 11 Ctn. durch einen einzigen Menschen.

Fig. 208.

1 Die französische und englische Winde beruht auf der Schraube. Vergl. Art. *Schraube*.

2 Mechanik Th. I. S. 524.

Uhren sind im Allgemeinen Maschinen, bestimmt vermittelst eines Räderwerks die Zeit zu messen. Genauer genommen beruhn (mit Ausnahme der Sonnenuhren) gegenwärtig alle auf den stets gleichförmigen Schwingungen eines Pendels, welches so lange, als es selbst unverändert bleibt, in Folge der stets unveränderlichen Schwere an einem und demselben Orte seine Schwingungen unausgesetzt in gleicher Zeit vollendet[1]. Ist also diese Zeit der Oscillationen bekannt, so bedarf es nur eines Mechanismus, um die Schwingungen des Pendels zu zählen und die unterdefs verflossene Zeit anzugeben. Als Normalpendel kann hierbei das Secundenpendel angesehn werden, indem die andern dann für halbe oder sonst aliquote Theile der Secunde eingerichtet sind. Weil aber das Pendel bald zu schwingen aufhören würde, so enthält das Räderwerk zugleich einen Mechanismus, um durch einen geringen Impuls gegen das Pendel bei jeder Schwingung den durch die Hindernisse der Bewegung entstandenen Verlust zu ersetzen, und eine Uhr ist also dann am vollendetsten, wenn sie bei unveränderlichem Pendel eine so genaue und durchaus gleichmäfsige Construction hat, dafs alle dem Pendel ertheilte Impulse einander stets gleich sind. Jenachdem die Zeit ist, welche die Uhren anzeigen, heifsen sie *astronomische* für Sternenzeit, oder schlechtweg *Uhren für mittlere Zeit*, oder solche für *wahre Sonnenzeit*, welche jedoch selten sind, und, wenn sie die beiden letztern Zeiten zugleich angeben, *Aequationsuhren* (von *aequare*, ausgleichen). Die sonstigen vielerlei Arten von Uhren sind durch ihren blofsen Namen kenntlich und ihre nähere Beschreibung würde hier zu weit führen. Der eigentlichen *Zeit-Uhren* giebt es hauptsächlich drei Arten: *Thurmuhren*, *Pendeluhren*, die entweder *Stand-* oder *Wand-Uhren* heifsen, weil erstere auf einem Schranke, einer Console oder sonst hingestellt, letztere an der Wand befestigt zu werden pflegen, und *Taschen-Uhren*, entweder gewöhnliche oder *Chronometer*. Die bewegenden Mittel sind bei den ersten beiden Arten meistens Gewichte, bei der letztern allezeit Federn.

Die Erfindung der jetzt gebräuchlichen Uhren gehört unter die wichtigsten, da die früher angewandten verschiedenen

1 Vergl. *Pendel*.

Mittel der Zeitmessung nicht genügten; man hat aber erst allmälig durch zahlreiche Verbesserungen sie zu ihrer jetzigen Vollkommenheit gebracht[1]. Am wichtigsten war die durch HUYGHENS gemachte Erfindung, das Pendel zur Regulirung der Zeitmessung zu benutzen, die er zuerst 1658 kurz bekannt machte[2], als sie aber dem GALILAEI vindicirt wurde[3], ausführlich beschrieb[4]. Die Erfindung der Taschenuhren, die PETER HELL in Nürnberg schon im J. 1500 gemacht haben soll, beginnt erst mit dem Gebrauche der Unruhe und Spiralfeder und ist zwischen HUYGHENS und ROB. HOOKE streitig[5], als gewifs aber darf angenommen werden, dafs der erstere sie nicht vor 1673 gekannt hat, dagegen findet sich auf einer dem Könige CARL II. von England überreichten solchen Uhr die Inschrift: ROB. HOOKE *invenit* 1658 T. TOMPION *fecit* 1675. Auch die pariser Uhrmacher bestritten die Priorität der Erfindung durch HUYGHENS, der ein Patent darüber haben wollte, aber nicht erhielt, weil der Abt HAUTEFEUILLE sich die Erfindung anmafste, auch einen Procefs deswegen mit jenem anfing, ihn aber verlor[6]. Nach LEIBNITZ[7] ist indefs HUYGHENS der Erfinder und hat diesen Mechanismus 1674 durch den Uhrmacher TURET in Paris anfertigen lassen.

Unter den verschiedenen Constructionen der Uhren wähle ich zur nähern Beschreibung die Taschenuhren, weil ihr Mechanismus am künstlichsten und der eigenen Ansicht weniger zugänglich ist, als bei Pendeluhren. Das Werk in den Taschenuhren liegt meistens zwischen zwei, durch mehrere Säulen festgehaltnen messingnen Scheiben, und hat als Haupttheil die in der messingnen Trommel a eingeschlossene Feder, welche durch das vermittelst des Stifts s geschehende Auf-

Fig. 209.

---

1 Das Geschichtliche der Erfindung und allmäligen Verbesserung erzählt MARPURGER in Horologiographia oder Beschreibung der Eintheilung und Abmessung der Zeit. Dresd. 1723, auch LA HIRE in Mém. de l'Acad. 1817. p. 78.

2 CH. HUGENII Horologium. Hagae 1658.

3 Tentam. Ac. del Cimento. I. p. 20.

4 CHR. HUGENII Horologium oscillatorium. Par. 1673. fol.

5 HUTTON Dict. T. II. p. 585.

6 JUVENEL DE CARLENCAS Geschichte der schön. Wissensch. und freien Künste. Ueb. von KAPPE 1752. Th. II. S. 435.

7 Régle artificielle du tems par H. S. (HENRI SULLY). Wien 1714. a. E.

ziehn gespannt wird, indem man die um die Trommel geschlungene feine Kette um die konische Schnecke b wickelt. Letztere ist auf der Spindel s befestigt und durch einen Sperrhaken auf der Scheibe des unter ihr befindlichen Rads so gesperrt, dafs sie sich beim Aufziehn frei um ihre Axe drehn läfst, wenn aber die gespannte Feder sich wieder zurückzieht, durch die Sperrung eben dieses untere Rad ergreift und mit sich umdreht. Die konische Gestalt hat sie deswegen, damit die zunehmend stärker gespannte Feder auf einen im gleichen Verhältnisse abnehmenden Hebelarm wirkt und vermöge dieser Ausgleichung auf das Uhrwerk eine stets gleichbleibende bewegende Kraft ausübt. Gute Uhren dürfen daher beim Aufziehn keinen ungleichen Widerstand bemerken lassen. Wird also das Schneckenrad durch die gespannte Feder vermittelst der Schnecke umgedreht, so greifen seine Zähne in die Welle des Minutenrads c, dessen Spindel durch das Zifferblatt herausragt und den Minutenzeiger trägt. Es ist nämlich auf dieses verlängerte Spindelende das Zeigerwerk so aufgesteckt, das es sich zwar umdrehn und die Uhr somit stellen läfst, doch aber hinlängliche Reibung hat, um die Zeiger gehörig zu bewegen. Die zum Minutenzeiger gehörige Welle r greift dann in die Zähne des Wechselrads p und dessen Welle k in die des Stundenrads q, welches beweglich über die Hülse des Minutenzeigers nur geschoben ist, diese Räder und ihre Getriebe haben jedoch ein solches Verhältnifs, dafs der Stundenzeiger 12mal langsamer als der Minutenzeiger umläuft, weil die Getriebe mit ihrer geringern Menge von Zähnen die Räder in Bewegung setzen.

Bestände das Uhrwerk aus keinen sonstigen Theilen, als den eben genannten, so würde die zurückziehende Feder diese mit beschleunigter Geschwindigkeit umtreiben, wie zuweilen bei eingetretenen Beschädigungen beobachtet wird, und eine regelmäfsig die Zeit abtheilende Bewegung wäre unmöglich, allein die Zähne des grofsen Bodenrads oder Minutenrads c greifen zugleich in die Welle des Mittelrads oder kleinen Bodenrads d, die Zähne des letztern in die Welle des Kronrads e, und die Zähne von diesem in die horizontale Welle des Steigrads f, welches in Gemäfsheit der beschriebenen Einrichtung eine aufserordentliche Geschwindigkeit erhalten müfste, zugleich aber nur eine dieser umgekehrt

proportionale Kraft auszuüben vermag. Die Hauptsache beruht also darauf, diesem Rade eine stets regelmäfsige und gleichbleibende Bewegung mitzutheilen, welches durch die Unruhe g und die feine Spiralfeder i bewirkt wird. Die erstere besteht aus einem vermittelst einiger Speichen auf einer Spindel befestigten Ringe, welcher für das Fortrücken eines jeden Zahns des Steigrads eine mehr oder weniger Grade des Kreises betragende vorwärts und wieder rückwärts gehende Schwingung beendigen mufs. Dieses wird durch die sogenannte *Hemmung* (Échappement; *Escapement, 'scapement*) bewirkt, deren es drei Arten giebt, die zurückfallende, die ruhende und die freie. Bei allen dreien ist die horizontale Unruhe auf einer Spindel ab befestigt, welche zwei ungefähr in einem rechten Winkel von einander abstehende Lappen hat, deren einer die obern, der andere die untern Zähne des Steigrads hemmt. Indem dann der eine Lappen durch den Zahn zur Seite geschoben wird, schwingt die Unruhe durch den zugehörigen Bogentheil um, der Zahn gleitet über den Lappen hin, gleichzeitig aber ergreift der diametral auf der Peripherie des Steigrads gegenüberstehende Zahn den andern Lappen und dreht ihn nach der entgegengesetzten Seite, während die Unruhe ohnehin durch die Spiralfeder rückwärts gezogen wird, um nicht vermöge der Trägheit ihren Umschwung weiter fortzusetzen, wobei es aufserdem gestattet ist, den Gang der Uhr dadurch zu reguliren, dafs man die Spiralfeder, da wo ihr anderes Ende feststeckt, stärker oder weniger spannt, je nachdem der Gang der Uhr beschleunigt oder zurückgehalten werden soll. Bei den Pendeluhren ist das Steigrad ein Sternrad mit schräg eingeschnittenen Zähnen, in welche der an einer horizontalen Spindel festsitzende Graham'sche Haken f abwechselnd eingreift, wodurch dann die von der genannten Spindel herabgehende feine, mit einer horizontal umgebogenen Gabel versehene Stange fd dem Pendel den erforderlichen Impuls mittheilt, der dessen Schwingungen stets gleichmäfsig erhält. Wenn der einfallende Lappen das Steigrad und damit das ganze Räderwerk wieder etwas zurückdrückt, so heifst dieses die *zurückfallende* Hemmung. Um die hierdurch entstehende gröfsere Reibung aufzuheben, erfand Grahah die *ruhende* Hemmung, bei welcher der Zahn während der Auslösung des Lappens unverrückt stehn bleibt,

Fig. 210.

Fig. 211.

noch besser aber ist die durch MUDGE erfundene *freie* Hemmung, bei welcher nicht der Regulator selbst den Zahn aufhält, sondern ein besonderer Ausfall, während die Unruhe frei ihre Schwingung vollendet. Eine eigenthümliche, durch TOMPION erfundene, nachher durch GRAHAM und die spätern geschickten Uhrmacher wesentlich verbesserte, neuerdings sehr wieder in Aufnahme gekommene Hemmung geschieht vermittelst eines Cylinders, und heifst hiernach die *Cylinderhemmung*, so wie diejenigen Uhren, die diese Hemmung haben, *Cylinderuhren* genannt werden. Hiernach wird das Steigrad durch ein horizontales Rad mit aufrecht (nach Art der Zähne bei Kronrädern) stehenden kleinen Häkchen ersetzt, die in den Einschnitt eines Cylinders eingreifen, auf dessen Axe die Unruhe befestigt ist. Die Cylinder werden neuerdings mit bedeutendem Gewinne für die Dauerhaftigkeit aus Quarz oder Achat verfertigt[1].

D. Mühlräder.

Räder mit Getrieben kommen nur dann in Anwendung, wenn die Welle des ersten oder Hauptgetriebes durch irgend eine gegebene Kraft umgedreht und also Bewegung durch eine bewegende Ursache erzeugt wird. Unter der Menge solcher bewegenden Mittel, deren einige in diesem Artikel bereits vorgekommen sind, nehmen der Wasserdampf und das fliefsende Wasser den ersten Rang ein und kommen unter allen am häufigsten in den Dampfmaschinen und den Wassermühlen in Anwendung, wovon erstere zwar den Vorzug haben, dafs sie sich überall darstellen lassen, letztere aber den weit gröfsern, dafs das bewegende Mittel durch die Natur unmittelbar gegeben ist und also nichts kostet, wobei jedoch zu berücksichtigen, dafs die Hinführung des Wassers zu den Maschinen und die Sicherung der hierzu erforderlichen Bau-

1 Die Literatur über die Uhren ist im höchsten Grade weitläufig, und ich begnüge mich daher damit, nur folgende Werke anzugeben. Traité de l'horlogerie par M. LE PAUTE. Par. 1755. Essay sur l'horlogerie par M. FERD. BERTHOUD. Par. 1763. Sehr ausführlich, auch namentlich in Beziehung auf die reichhaltige Literatur, ist REES Cyclopaedia. T. VIII. Vergl. J. H. M. POPPE Wörterbuch der Uhrmacherkunst. Leipz. 1799. 2 T. 8.

ten gegen die Wasserschwellen häufig mit bedeutenden Kosten verbunden zu seyn pflegt. Von den Dampfmaschinen ist bereits ausführlich gehandelt worden, und wenn es gleich zu weit führen würde, die Construction der verschiedenen Mühlen hier vollständig zu untersuchen, so dürfen doch die Angaben über die Beschaffenheit der Mühlräder und eine kurze Anzeige der wichtigsten Schriften, welche nähere Auskunft über diesen Gegenstand geben, nach dem Plane dieses Werks hier nicht fehlen.

1. Das mechanische Moment des Wassers ist eine Function der Masse desselben, welche entweder durch ihren Stofs bei gegebener Geschwindigkeit oder durch ihr Gewicht beim Herabfallen die Mühlräder umtreibt. Die Masse desselben wird erhalten, wenn man den Quadratinhalt der Ausflufsöffnung und den in der Zeiteinheit einer Secunde durchlaufenen Raum kennt, woraus die Geschwindigkeit folgt. Heifst also die Wassermasse in irgend einem Mafse ausgedrückt M, die Geschwindigkeit v und der Quadratflächeninhalt der Ausflufsöffnung f^2, so ist allgemein

$$M = f^2 v.$$

Die Erfahrung hat jedoch ergeben, dafs der Querschnitt des aus einer gegebenen Oeffnung abfliefsenden Wassers kleiner ist, als der Querschnitt der Oeffnung, was man die Zusammenziehung der Wasserader (*contractio venae;* Contraction de la veine; *Contraction of the vein*) nennt. Dieser Gegenstand ist bereits vollständig erörtert worden[1], und ich bemerke daher blofs, dafs aufser den dort angegebenen zahlreichen Versuchen von Poleni, Newton, Dan. Bernoulli, de Borda, Bossut, Langsdorf, Vince, Michelotti, Eytelwein und Hachette noch neuerdings andere gehaltreiche von Hachette[2], Math. Young[3], Helsham und Banks[4], Brindley und Smeaton[5], insbesondere von Bidone[6], Bru-

1 S. Art. *Hydrodynamik.* Bd. V. S. 535.

2 Traité élém. des Machines. 4me ed. Par. 1828. 4. p. 84 ff.

3 Trans. of the Roy. Irish Acad. T. VII. 1800.

4 Abhandlung über Mühlenwerke von J. Banks; übers. von Zimmermann. 1800. Auch in Manchester Mém. T. V. p. 398. Nich. Journ. II. 269.

5 Banks a. a. O.

6 Mémoires de l'Académie de Turin. 1822. T. XXVII. p. 395.

nacci[1], Poncelet und Lesbros[2] und von Christian[3] hinzugekommen sind, die man fast vollständig in der Mechanik des letztern, in den Werken von Hachette, v. Gerstner und Egen[4] zusammengestellt findet. Letzterer entnimmt aus den gehaltreichsten Beobachtungen folgende Resultate, die man als der Wahrheit sehr nahe kommend und somit als normale betrachten kann, wonach also in die gegebene Formel noch ein Coefficient $m^{(n)}$ für die Zusammenziehung der Wasserader eingeführt werden mufs.

a. Für kleinere Oeffnungen von 0,5 Zoll Weite.

1) Wenn auf allen Seiten Zusammenziehung statt findet, $m = 0,617$
2) Wenn unten keine Zusammenziehung statt findet, $m' = 0,639$
3) Wenn auf zwei Seiten keine Zus. statt findet, $m'' = 0,662$
4) Wenn auf drei Seiten keine Zus. statt findet, $m''' = 0,694$
5) Wenn auf keiner Seite Zus. statt findet, $m^{IV} = 0,694$

b. Für Oeffnungen mehr als 1 Zoll weit.

1) Wenn auf vier Seiten Zusammenziehung statt findet, $m = 0,617$
2) Wenn auf drei Seiten Zusammenziehung statt findet, $m' = 0,642$
3) Wenn auf zwei Seiten Zusammenziehung statt findet, $m'' = 0,666$
4) Wenn auf einer Seite Zusammenziehung statt findet, $m''' = 0,716$
5) Wenn auf keiner Seite Zus. statt findet, $m^{IV} = 0,815$

Hiernach ist also in der oben mitgetheilten Formel

$$M = m^{(n)} f^2 v.$$

Soll hiernach das Kraftmoment des Wassers berechnet und mit andern verglichen werden, so läfst sich die Höhe, aus welcher dasselbe herabfällt, statt derjenigen setzen, auf welche es gehoben werden müfste, und es läfst sich also das Product aus dieser Höhe und dem Gewichte auf die Zeiteinheit einer Secunde reducirt als dieses Kraftmoment betrachten, d. h. $k = MH$, wenn M das Gewicht und H die Fallhöhe bezeichnen. Nach v. Gerstner's[5] aus der Erfahrung entnommenen

1 Brugnatelli Giornale di Fisica. 1808. T. I. p. 385.

2 Expériences sur les lois de l'écoulement de l'eau cet. entreprises à Metz dans les années 1827, 1828 et 1829. par MM. Poncelet et Lesbros. Par. 1829.

3 Traité de Mécanique industrielle. T. I. p. 348.

4 Untersuchungen über den Effect d. Wasserwerke u. s. w. Berl. 1831. 4. S. 16.

5 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 33.

Bestimmungen ist die Kraftäufserung eines gewöhnlichen Arbeits-Pferds 100 ℔ mit 4 Fufs oder hoch angenommen mit 4,5 F. Geschwindigkeit in einer Secunde für 8 Stunden tägliche Arbeit, eines gewöhnlichen Arbeiters aber 25 ℔ mit 2,5 oder höchstens 3 Fufs Geschwindigkeit für eine gleich lange Zeit. Vergleichen wir diese drei mit einander, ohne vorläufig die Zeitdauer zu berücksichtigen, so wäre für ein Wasserwerk, welches bei 10 Fufs Fallhöhe einen Kubikfufs Wasser in 1 Secunde zu verwenden hat, $K=70\times 10=700$, für ein Pferd dagegen $K=100\times 4{,}5=450$ und für einen Arbeiter $K=75$, diese drei verhalten sich also wie 700:450:75 oder wie 9,34:6:1 und, wenn man die 24 stündige Arbeit des erstern in Anschlag bringt, wie 28:6:1.

2. Zur Bestimmung der Wassermenge, welche durch eine Schütze von gegebenem Flächeninhalte in einer gegebenen Zeit ausfliefst, ist erforderlich, aufser der Zusammenziehung der Wasserader hauptsächlich noch die Geschwindigkeit des Fliefsens zu kennen. Diese ist jedoch so schwer zu bestimmen, dafs die ausfliefsende Wassermenge nach Egen nur durch eigentliche Messung mit völliger Schärfe zu erhalten steht. Inzwischen wird man sich von der Wahrheit nur wenig entfernen, wenn man mit v. Gerstner[1] nach dessen durch Erfahrung geprüften theoretischen Untersuchungen annimmt, dafs in Folge der ungleichen Geschwindigkeiten der einzelnen, in einem Canale fortfliefsenden Wasserschichten diese im Ganzen als eine parabolische Fläche bildend anzusehn sind, deren Inhalt dann $\frac{2}{3}$ mal dem Producte der Abscisse in die Ordinate gleich ist. Indem aber bekanntlich die Geschwindigkeit des aus einer Oeffnung ausfliefsenden Wassers $v=2\sqrt{g\left(\frac{H+h}{2}\right)}$ ist, wenn H die Höhe bis zum untern und h bis zum obern Rande der Oeffnung, g aber den Fallraum in einer Secunde bezeichnet, so ist für den Fall, dafs das aufgestaute Wasser eine beständige Höhe seines Spiegels über der Schleuse behält,

$$M=m^{(n)}.a(H-h)2\sqrt{g\left(\frac{H+h}{2}\right)}\ldots 1)$$

1 A. a. O. Th. II. S. 152.

und wenn die Schleuse ganz aufgezogen ist, mithin $h=o$ wird,

$$M=m^{(n)}\tfrac{2}{3}a.H2\sqrt{gH}\,\ldots\ldots\ldots\ \mathrm{II})$$

worin der Werth von $m^{(n)}$ aus den unter Nr. 1. gegebenen Bestimmungen, g aber nahe genau = 15 par. Fuſs genommen werden kann und a die Breite des Gerinnes bezeichnet. Gelangt das Wasser zu den oberschlächtigen Mühlrädern durch einen Canal, so flieſst es auf der geneigten Ebene, erleidet aber dann eine Verminderung seiner Geschwindigkeit durch die Adhäsion an den Wänden. Für diesen Fall möge hier die durch v. Gerstner[1] aufgefundene Bestimmung der Geschwindigkeit v als für die Praxis vollkommen genügend angenommen werden, wonach $v=2\sqrt{180\,g.b\frac{e}{L}}$ ist, wenn b die Tiefe des Wassers und e die Erhöhung auf eine Länge = L bezeichnet. Indem dann aber die Wassermenge dem Producte der Geschwindigkeit in den Flächeninhalt des Canals gleich ist, so ist für eine Breite des Canals = a und eine Tiefe des Wassers = b der Flächeninhalt = ab, folglich das in einer Secunde abflieſsende Wasser = v.ab oder

$$M=ab.2\sqrt{180\,g.b\frac{e}{L}}\,\ldots\ldots\ldots\ \mathrm{III})$$

wobei jedoch vorausgesetzt ist, daſs der Canal nicht merklich, auf jeden Fall nicht in einem rechten Winkel gekrümmt sey.

3. Auf welche Weise eine gegebene Wassermasse durch ihre Bewegung die Mühlräder umtreibe und hierbei sowohl von dem gegebenen Mittel der gröſste Effect erhalten, als auch letzterer für die einzelnen Operationen am zweckmäſsigsten benutzt werden könne, ist vielseitig untersucht worden; man hat hierbei wegen der Wichtigkeit der Sache sowohl die Theorie als auch die Erfahrung benutzt, und wenn beide nicht allezeit mit einander übereinzustimmen schienen, so lag hiervon die Ursache nicht sowohl in einer Mangelhaftigkeit der erstern, als vielmehr an einer unvollständigen Berüchsichtigung aller zu beachtenden Bedingungen, wie Barlow sehr richtig bemerkt. Hieraus ergiebt sich indeſs schon von selbst, daſs

1 Vergl. Art. *Strom*.

eine ins Einzelne eingehende Untersuchung, wenn diese noch obendrein bis zu einer Vergleichung der Resultate theoretischer Bestimmungen mit den durch Erfahrung aufgefundenen ausgedehnt werden sollte, sehr weitläufig seyn müsse und daher für den Plan unseres Werkes nicht passe, weswegen ich mich auch hierbei auf die Mittheilung der wichtigsten Resultate beschränken mufs, die ich hauptsächlich aus v. GERSTNER's bekanntem Werke entlehne, worin die älteren Schriften über diesen nämlichen Gegenstand gröfstentheils vollständig benutzt sind[1]. Im Ganzen giebt es zwei Hauptarten von Mühlrädern, die mit horizontaler und mit verticaler Axe, wovon die erstern wieder in unterschlächtige, oberschlächtige und Kropfräder eingetheilt werden.

a. Unterschlächtige Mühlräder.

Die unterschlächtigen Mühlräder (Roues à aubes ou à palettes; *Undershot wheels*) bestehn allgemein aus einer Welle, an welcher vermittelst einer gehörigen Anzahl Speichen ein Kranz mit Schaufeln befestigt ist, deren Ebenen mit den durch die Axe der Welle gelegten zusammenfallen, und die daher in Folge des perpendiculär gegen sie gerichteten Wasserstofses die Umdrehung des Rads bewirken. Ihrer Construction nach sind sie entweder *Strauberräder*, die in ihrer schlechtesten Gestalt aus einem blofsen Kranze mit Einschnitten und darin eingekeilten Schaufeln bestehn, bei den bessern aber sind die letztern breiter und an beiden Seiten durch einen oder zwei mitten durch sie durchlaufende Ringe gesteift. Sie werden meistens bei wenigem Wasser und grofser Geschwindigkeit desselben angewendet. Bei weitem die am meisten gebräuchlichen sind die *Staberräder*. Sie bestehn aus zwei parallelen Ringen, deren jeder an besondern, gleichfalls einander parallelen Speichen befestigt ist, und zwischen denen die Schaufeln entweder insgesammt unbeweglich festsitzen, oder nur zum Theil, indem einige, in Nuten eingeschoben, sich erforderlichen Falls herausnehmen und auch beim Abgange leichter durch neue ersetzen lassen. Die gröfsten sind die

Fig. 213.

Fig. 214.

---

1 Für theoretische Untersuchungen ist zu empfehlen: Du Calcul de l'Effet des Machines cet. par CORIOLIS Par. 1829. 4. p. 168 ff.

Pansterräder, welche, im Ganzen wie die Staberräder gestaltet, breitere Schaufeln haben und daher durch einen oder zwei Ringe unter sich verbunden (verriegelt) werden. Man wendet sie da an, wo vieles Wasser von geringer Geschwindigkeit zu Gebote steht, und da sie durch eine gröfsere Geschwindigkeit des Wassers leicht Beschädigung leiden könnten, so sind sie mit einer Vorrichtung, einem *Panster*, verbunden, vermittelst dessen sie durch ein Hebelwerk, durch Schrauben oder seltener selbst durch einen Schwimmer nach dem verschiedenen Wasserstande gehoben oder herabgelassen werden.

Fig. 215.

Da diese Räder insgesammt durch den Stofs des Wassers umgedreht werden, so war vor allen Dingen erforderlich, diejenige Kraft auszumitteln, welche das Wasser ausübt, wenn es lothrecht gegen die Schaufeln fliefst, da eine schiefe Richtung desselben füglich unberücksichtigt bleiben kann, weil der Effect eines solchen Stofses auf jeden Fall geringer ist und obendrein einen schädlichen Druck zur Seite erzeugt, man ihn daher überall nicht anwendet. Wird angenommen, dafs ein pariser Kubikfufs Wasser 70 ℔ wiegt, so beträgt die im Zeitelemente dt mit einer Geschwindigkeit v ausfliefsende Wassermenge für eine Quadratfläche f^2 des zusammengezogenen Wasserstrahls $Q = 70 f^2 v dt$, und diese würde im Zeitelemente dt die Geschwindigkeit $2g.dt$ erhalten, mithin

$$70 f^2 v.dt : 2g.dt = Q : v, \text{ also } Q = 70 f^2 \frac{v^2}{2g} \ldots\ldots \text{I)}$$

und da $\frac{v^2}{4g} = h =$ der Höhe des Wassers bis zum Spiegel desselben nach den Fallgesetzen substituirt werden kann, so ist

$$Q = 70\, f^2 . 2\, h,$$

oder *der Stofs gegen eine ruhende Fläche ist doppelt so grofs, als das Gewicht einer Wassersäule von der Fläche des Querschnitts der zusammengezogenen Wasserader und der Höhe von der Mitte dieser Wasserader bis zum Wasserspiegel.* Dieser Satz ist von den Hydraulikern, namentlich Bossut und Langsdorf, durch Versuche bestätigt gefunden worden, indem sie den Wasserstrahl gegen eine verticale Scheibe richteten, die an einer Welle befestigt vermittelst eines an einem andern Hebelarme befestigten Gewichts gegen den Strahl fest-

gehalten wurde[1]. Hierbei versteht sich aber, dafs die gestofsene Fläche wenigstens viermal so grofs seyn mufs, als der kleinste Querschnitt der stofsenden Wasserader, damit die ganze Kraft des gesammten Wassers zur Wirksamkeit komme.

Die Schaufeln ruhn indefs nicht, sondern sie bewegen sich, das stofsende Wasser mufs ihnen nachfolgen und das aufstauende Wasser vor sich hertreiben. Nach den Untersuchungen von MARIOTTE, BOSSUT und v. GERSTNER beträgt daher der Stofs der mit einer Geschwindigkeit $= v$ bewegten Wassermasse nur $70 . f^2 \frac{v}{2g}(v-c)$, wenn c die erlangte Geschwindigkeit der Radschaufeln bezeichnet. Dieser kann jedoch die Radschaufeln wegen ihrer Umdrehung nicht fortdauernd ganz treffen, sondern die letztern ziehn sich wegen der Kreisbewegung sofort aus dem Wasser, nachdem sie durch allmäliges Eintauchen den tiefsten Punkt erreicht haben, und es folgt hieraus ferner, dafs eine gewisse Anzahl Schaufeln, deren Zahl n seyn möge, gleichzeitig bis zu verschiedener Tiefe eingetaucht seyn müssen. Durch eine geometrische Construction, deren Mittheilung hier zu viel Raum einnehmen würde, läfst sich zeigen, dafs wenn das Wasser in einem horizontalen Gerinne fliefst und die Tiefe desselben bis wie weit die Schaufeln eintauchen $= b$, die Breite der Schaufeln $= a$ gesetzt wird, die bewegende Kraft des Wassers

$$K = 70 . ab . v \left(1 - \frac{v^2}{3(v-c)^2 n^2}\right)\left(\frac{v-c}{2g}\right) \ldots\ldots \text{II)}$$

beträgt. Aus einer nach dieser Formel für verschiedene Werthe berechneten Tabelle ergiebt sich, dafs die Zahl der Radschaufeln n nicht kleiner als $= 2$ seyn dürfe, mit gröfserem Vortheile aber $= 6$ bis 8 angenommen werde, wonach dann für einen gegebenen Halbmesser des Rads die gesammte Anzahl der Schaufeln an seiner Peripherie leicht gefunden wird. Als vortheilhafteste Geschwindigkeit ergiebt sich $c = 0,5\,v$, was damit im Einklange steht, dafs für $c = 0$, also beim Still-

1 Ueber den Stofs eines Wasserstrahls gegen eine Fläche haben unter andern DAN. BERNOULLI in Comm. Pet. VIII. 99 u. 113. und KRAFT ebend. u. XI. 233. schätzbare Betrachtungen und Versuche bekannt gemacht. Vergl. Art. *Stofs*.

stehn des Rads, zwar das gröſste Kraftmoment, aber kein Nutzeffect statt finden, für c = v aber das erstere und somit auch der letztere wegfallen würde, zwischen welchen beiden das angenommene Maximum in der Mitte liegt. Endlich muſs aber das Rückstauen des Wassers die Bewegung des Rads hindern, und man nimmt daher als Regel an, daſs das Schuſsgerinne um die Höhe des Wasserstands in demselben geneigt seyn müsse, wobei v. Gerstner als vortheilhaft betrachtet, den untern Fachbaum der Schütze mit dem Spiegel des unterhalb der Mühlräder abflieſsenden Wassers in gleiches Niveau zu legen.

Die in der obigen Formel befindliche Geschwindigkeit = v kann auf die unter Nr. 2. bereits angegebene bekannte Weise mit Rücksicht darauf, daſs bei ganz offener Schütze noch der Factor = $\frac{3}{4}$ einzuführen ist, leicht gefunden werden, die übrigen Gröſsen ergeben sich aus mitgetheilten Bestimmungen oder anzustellenden Messungen, und hiernach ist also K in Pfunden gegeben. Bei der hieraus unmittelbar folgenden Bestimmung des Nutzeffects fällt der Halbmesser des Rads weg, weil bei bestimmter Geschwindigkeit der Radschaufeln, also auch der Peripherie des Rads, hinsichtlich seiner Leistungen durch die gröſsere Länge des Halbmessers zwar an Kraft gewonnen, aber ebensoviel an Geschwindigkeit wieder verloren wird. Ist aber das einer gewissen Geschwindigkeit zugehörige Kraftmoment des Rads bekannt, so kann den gewünschten Leistungen die hierdurch bestimmte Ausdehnung nach bekannten mechanischen Gesetzen gegeben werden, wobei aber in Beziehung auf die praktische Anwendung sehr berücksichtigt werden muſs, daſs die verschiedenen technischen Arbeiten, z. B. bei den Mahlmühlen, Stampfmühlen, Malzwerken, Drahtziehereien u. s. w., eine gewisse Geschwindigkeit als die vortheilhafteste erfordern, welcher man daher bei der Anlage eines Gewerks möglichst nahe zu kommen suchen muſs. So liefern unter andern zahlreichen Erfahrungen zufolge die Mahlmühlen nur dann ein gutes Mehl, wenn die Peripherie der flachen Steine 22, der konisch gehauenen 17 par. Fuſs Geschwindigkeit in 1 Minute hat.

Ohne auf diese, für gröſsere Werke über die Mechanik gehörigen Untersuchungen weiter einzugehn, erwähne ich nur noch kürzlich die Beantwortung der wichtigen Frage, ob es

vortheilhafter sey, bei hinlänglichem oder überflüssigem Wasservorrathe mehrere Räder neben einander in eigenen Schufsgerinnen, oder hinter einander in dem nämlichen Schufsgerinne anzulegen. V. Gerstner erhält als Resultat seiner Untersuchungen, dafs die letztere Einrichtung bei weitem den gröfsern Nutzeffect gewährt, welches eine Folge der bessern Benutzung des sonst wirkungslos abfliefsenden Wassers ist.

b. Oberschlächtige Mühlräder.

Die oberschlächtigen Mühlräder (Roues à augets; *Overshot-wheels*) bestanden nach der ältern mangelhaften Construction aus einem Kranze mit Schaufeln, nach Art der Strauberräder, von nicht grofsem Durchmesser, wobei das aus beträchtlicher Höhe in einem stark geneigten Gerinne herabschiefsende Wasser gegen die Schaufeln stiefs und dadurch das Rad umdrehte. Hiernach mufste das Wasser nach seinem ersten Stofse sofort wieder von den Schaufeln abfliefsen und sein weiterer Fall blieb also unbenutzt, wogegen die nächste Verbesserung, indem man die Schaufeln zwischen zwei Ringe einschlofs und einen Boden unter sie legte, um das abfliefsende Wasser zurückzuhalten, nicht genugsam sicherte. Man stellte daher die auf gleiche Weise eingeschlossenen Schaufeln schräg; allein hierdurch ging ein grofser Theil des Stofses verloren und dennoch lief das Wasser sehr bald ab, wenn die Schaufeln nicht sehr schräg gestellt, dadurch aber die Masse des Holzes und gleichzeitig das Gewicht des Rads bedeutend vermehrt wurden. Gegenwärtig wendet man daher allgemein die gebrochenen oder gekröpften Schaufeln an, wovon der obere Theil die *Stofs-* oder *Setz-Schaufel*, der untere dagegen die *Kropf-* oder *Riegelschaufel* heifst. Die Construction dieser Räder unterliegt noch gröfsern Schwierigkeiten, als die der unterschlächtigen, weil dabei viele Bedingungen zu berücksichtigen sind, wenn man den vortheilhaftesten Nutzen von ihnen verlangt, namentlich die gehörige Gröfse der Zellen, damit sie mehr Wasser aufnehmen, die möglichste Leichtigkeit des Rads, die gehörige Richtung der Stofsschaufeln, damit der Stofs am wirksamsten werde, die erforderliche Neigung derselben, bei welcher sie zugleich das Wasser am längsten zurückhalten, ohne einen Theil desselben

Fig. 216.

als Hindernifs der Bewegung wieder in die Höhe zu nehmen, und andere minder wichtige, welche noch obendrein insgesammt solche Einrichtungen erfordern, dafs sie sich nicht gegenseitig aufheben, sondern vielmehr unterstützen.

Sowohl die Construction der oberschlächtigen Räder als auch insbesondere die Dimensionen derselben sind demnach verschieden und müssen dieses auch in Folge der ungleichen gegebenen Bedingungen seyn; dennoch aber lassen sich die folgenden Angaben als mittlere Bestimmungen betrachten, die zu einer nähern richtigen Beurtheilung der Sache dienen können. Zuvörderst wird der Durchmesser des Rads durch die Höhe des Gefälles bestimmt, welches man in der Regel vollständig benutzt, indem nur ein kleiner Theil desselben dem Schufsgerinne zugewendet wird, und nur in denjenigen Fällen, wenn man einem kleinen Rade eine grofse Geschwindigkeit geben wollte, würde es zweckmäfsig seyn, das Wasser aus einem langen und stark geneigten Schufsgerinne auf dasselbe aufschlagen zu lassen. Auf jeden Fall mufs das Schufsgerinne so stark geneigt seyn, dafs die Geschwindigkeit des aus ihm in die Zellen fallenden Wassers nicht geringer sey, als die des Rads, weil es die letztere sonst nicht vermehren, sondern sogar vermindern würde. Uebrigens folgt aus den bereits angegebenen mechanischen Principien unmittelbar, dafs man vermittelst jeder gegebenen Geschwindigkeit eines Rads jede verlangte Geschwindigkeit der bewegten Maschinen erhalten kann, jedoch allezeit mit einer dieser umgekehrt proportionalen Kraftäufserung. Indem aber das mechanische Moment einer gegebenen Wassermasse der Fallhöhe proportional wächst, allzuhohe Räder aber leicht anderweitige Unbequemlichkeiten herbeiführen, so folgt hieraus von selbst, dafs man dem Rade keine unnöthige Höhe geben wird, jedoch findet man von 5 Fufs bis selbst 24 Fufs Höhe, im Mittel darf man wohl 12 bis 18 Fufs annehmen. Inzwischen hat diese grofse Verschiedenheit dennoch auf die Dimensionen der übrigen Theile keinen so bedeutenden Einflufs, dafs sich für diese nicht die vortheilhaftesten Bestimmungen gleichfalls angeben liefsen.

Die Wirksamkeit des Rads hängt aufser der Höhe des Gefälles hauptsächlich von der Menge des Aufschlagewassers ab. Ist dieses im Uebermafs vorhanden, so läfst man das

überflüssige über ein Wehr abfliefsen, dessen Anlegung insbesondere dann ganz unentbehrlich ist, wenn bedeutende temporäre Wasserschwellen der ganzen Anlage Gefahr bringen könnten, ist jedoch der Ueberflufs nur temporär und nicht sehr bedeutend, so giebt man dem Schufsgerinne einen seitwärts führenden Abflufs, um das überflüssige Wasser oder das, was beim Stillstande der Mühle nicht aufgestaut werden kann, fortzuschaffen. Die Menge des in den Zellen des Rads zur Bewegung desselben dienenden Wassers hängt von ihrer Breite ab, die gröfser oder geringer werden mufs, wenn man eine gewisse Kraft zu erlangen beabsichtigt; denn wollte man die Zellen höher machen, so kämen sie dem Centrum so viel näher und würden daher die verlangte Wirkung nicht erzeugen können. Bezeichnet demnach C das Centrum der Welle, abe die innere und onp die äufsere Grenze des Radkranzes, so wird dieser durch den Theilstrich gmf in zwei Theile so getheilt, dafs die Höhe des innern bm ein Drittheil, des äufsern hn aber zwei Drittheile ausmacht, und es werden dann in bm die Kropfschaufeln in der Richtung des Halbmessers, in mn aber die Setzschaufeln so eingesetzt, dafs der Winkel hmn 30 Grade beträgt. Der Flächeninhalt der einen Seite der Zelle ist also $J = \left(\frac{nh}{2} + bm\right) hm$, und wenn die Höhe des Radkranzes $= bm + hn$ durch ϱ bezeichnet, die angegebene Eintheilung desselben aber beibehalten wird, vorausgesetzt, dafs die Zellen mit Wasser ganz gefüllt sind, so folgt aus $nh = \frac{2}{3}\varrho$ und $bm = \frac{1}{3}\varrho$

Fig. 217.

$$J = \frac{2}{3}\varrho \,.\, hm.$$

Fliefst dann ferner das Wasser oben bei o in die höchste Zelle des Rads in solcher Menge ein, dafs nichts davon ausläuft, bis die Kropfschaufel eine horizontale Lage erhält, so befindet sich in jeder Zelle von dieser bis zu derjenigen, deren Setzschaufel in einer durch das Centrum der Welle gehenden horizontalen Ebene liegt, eine dieser gleiche Menge Wasser. Von dieser an beginnt das Wasser auszufliefsen und ist gänzlich ausgeflossen, wenn die Setzschaufel horizontal liegt, also bei rq, wenn sCe = 30 Grade ist, und da der Bogen bs, in welchem das Ausfliefsen anfängt und beendigt wird, 60 Grade einnimmt, so müssen durch gegenseitige Ausgleichung die darin befindlichen Zellen noch bis zur Hälfte mit Wasser ge-

füllt seyn. Die gesammte Menge des in den Zellen befindlichen Wassers ist also zwischen zwei parallele Bogentheile eingeschlossen, deren Länge $90^\circ + 30^\circ = 120$ Grade und deren Abstand zwei Drittheile der Höhe des Radkranzes beträgt. Man nennt dieses den *wasserhaltenden Bogen*[1], dessen Flächeninhalt bei bekanntem Halbmesser des Rads und gegebener Höhe des Radkranzes leicht zu finden ist, wovon jedoch die Dicke der Schaufelbreter abgezogen werden muſs. Die Höhe des Radkranzes ist zwar willkürlich, im Ganzen aber kann aus dem angegebenen Grunde dieselbe im Mittel füglich zu 9 Zoll als am meisten geeignet angenommen werden. Der kubische Inhalt des drückenden Wassers wird dann leicht gefunden, sobald die Breite des Radkranzes gegeben ist, und mir scheint eine nähere Erläuterung dieser einfachen geometrischen Aufgabe überflüssig zu seyn.

Man hat die Menge des wirksamen Wassers auf verschiedene Weise zu vermehren gesucht, wodurch aber leicht andere Nachtheile herbeigeführt werden. Am besten läſst sich dieses erreichen, wenn man die Kropfschaufeln nicht in der Verlängerung des Halbmessers einsetzt, sondern sie mit diesem einen Winkel von 60 bis 30 Graden machen läſst, in welchem Falle jedoch die Zahl der Schaufeln vermehrt wird. Bei der oben angegebenen Construction bringt man die Kropfschaufeln einander so nahe, daſs $hm = 2hn$ oder nur um sehr wenig kleiner wird, welche Bestimmung so ist, daſs der Punct n oder die äuſsere Kante der Setzschaufel bis an die verlängerte Ebene der folgenden Kropfschaufel reicht. Da von der Fläche des wasserhaltenden Bogens die Dicke der Schaufeln abgeht, so macht man die letztern möglichst dünn, also von Eisenblech, oder eben bei Rädern mit eisernen Kränzen von schwachen Bretern. Neuerdings hat man der gröſsern Dauerhaftigkeit wegen die Räder ganz von Eisen, und zwar die Speichen von Schmiedeeisen, die Schaufeln von Eisenblech und die übrigen Theile von Guſseisen zu verfertigen angefangen, oft aber behält man zur Vermeidung eines zu groſsen Gewichts noch die hölzernen Wellen mit einem eisernen Kranze

---

1 Nach J. A. Euler Enodat. quaest., quomodo vis aquae cum maximo lucro ad molas circumagendas cet. impendi possit. A Soc. Gott. praemio ornata. Gott. 1754.

zum Einstecken der Speichen bei. Das gröfsere Gewicht der Wellen wird indefs leicht dadurch vermieden, dafs man sie sehr kurz macht und die Kammen zur Umtreibung des Getriebes an die eine Seite des Radkranzes angiefst.

Zur Auffindung des statischen Moments des Wassers führt folgende Betrachtung. Es seyen $\alpha\alpha$ der innere, $\delta\delta$ der äufsere Bogen des Radkranzes, $\beta\beta$ der Theilstrich und $\gamma\gamma$ ein Bogen, welcher die Fläche des Radkranzes so theilt, dafs $MN = \frac{2}{3} MO$ beträgt, so ist $MN = \frac{2}{3} \varrho =$ der Höhe des wasserhaltenden Bogens nach der oben angegebenen Bestimmung. Derselbe werde in mehrere willkürliche Theile mm′, nn′, oo′..... getheilt und die Breite des innern Raums des Radkranzes B genannt, so ist für pariser Fufsmafs der kubische Inhalt eines solchen Theils

Fig. 218.

$$J' = 70 \,.\, mm' \,.\, ab \,.\, B.$$

Theilt man ab in zwei gleiche Theile und zieht man aus diesem Theilungspuncte v die verticale Linie vw, so ist das statische Moment des eingeschlossenen Wassers $= J'.Cw$. Werden dann die horizontalen Linien aa′, bb′, cc′ .... und die verticalen tb.... gezogen, so ist das Dreieck atb dem Dreiecke vwC ähnlich und $ab : bt = vC : wC$, also $ab \,.\, wC = bt \,.\, vC = a'b' \,.\, CA$, welche Werthe substituirt das statische Moment

$$M = 70 \,.\, mm'.B.a'b'.CA$$

geben. Dieses Verfahren für alle einzelne Abtheilungen fortgesetzt giebt das ganze statische Moment des wasserhaltenden Bogens von a bis $A = 70.MN.B.a'A.CA$. Diese Gröfse wird aber noch durch den unter der horizontalen Linie CA befindlichen Theil vermehrt, und somit ist das gesammte statische Moment des wasserhaltenden Bogens

$$M' = 70 \,.\, MN \,.\, B \,.\, a'u'.CA,$$

das heifst es gleicht einem auf den Halbmesser aus dem Centrum der Welle bis an den Theilstrich drückenden Wasserprisma, dessen Grundfläche $\frac{2}{3}$ der Höhe des Radkranzes und die innere Breite des Radkranzes als Seiten hat, dessen Höhe aber der verticalen Linie von der ersten angefüllten Zelle bis zur Mitte des Bogens zwischen dem anfangenden und dem vollendeten Ausflusse gleich ist. Sind also die Schaufeln auf die angegebene Weise eingesetzt und von der obersten an mit Wasser gefüllt, so ist $a'A = \beta C$, ferner ist $Au' = \sin. 30° = 0,5$,

und heifst dann der Halbmesser des Rads bis an den Theilstrich R', die Höhe des Radkranzes ϱ, so wird in Pfunden

$$M = 70\,B \,.\, \tfrac{3}{2} R'^2 \,.\, \tfrac{2}{3} \varrho = 70\,B \,.\, R'^2 \,.\, \varrho$$

das statische Moment des Wasserprisma's, wodurch das Rad mit der auf einen andern Hebelarm wirkenden Last ins Gleichgewicht kommt. Man darf jedoch nicht annehmen, dafs das Wasser in die oberste Zelle einfliefse, vielmehr würde dieses selbst in der Anlage Schwierigkeiten haben, und die praktischen Baumeister nehmen vielmehr als Regel an, dasselbe zuerst in die dritte oder vierte Zelle einströmen zu lassen. Nimmt man also an, dafs der Abstand des Wassers in der ersten gefüllten Zelle vom verticalen Halbmesser 20 Grade betrage, so ist hiernach

$$M = 70 \,.\, B \,.\, \tfrac{2}{3} \varrho \,.\, R'^2 \,(\cos.\, 20^\circ + \sin.\, 30^\circ).$$

Inzwischen ist es gerade nicht am vortheilhaftesten, die Füllung bis zu $\tfrac{2}{3}$ der Höhe des Radkranzes als Regel anzunehmen, vielmehr zieht man vor, die Zellen breiter zu machen und weniger zu füllen, weil dann dafs Ausfliefsen nicht so bald anfängt und erforderlichen Falls eine stärkere Füllung zu erhalten steht. Die bisherige Betrachtung zeigt also nur im Allgemeinen, und hierfür hinlänglich genähert, die Methode, nach welcher die Kraft des auf das Rad wirkenden Wassers berechnet werden kann.

Von den vielen Untersuchungen, welche aufserdem noch erforderlich sind, um zu bestimmen, auf welche Weise man von den oberschlächtigen Rädern den gröfsten Nutzeffect erhalten könne, will ich nur einige der wesentlichsten Resultate mittheilen. Zuerst folgt schon aus der Natur der Sache, dafs man suchen müsse, ein möglichst hohes Gefälle zu erhalten und diesem gemäfs also den Halbmesser des Rads zu vergröfsern, dessen statisches Moment dem Quadrate dieses Halbmessers proportional ist. Von dem gegebenen Gefälle geht aber ein Theil ab, welcher dem zufliefsenden Wasser zugewandt werden mufs, damit dieses mit einer gewissen Geschwindigkeit in die Zelle falle. Der Nutzeffect dieser Geschwindigkeit kommt zwar der Bewegung des Rads zu statten, allein eine nähere Untersuchung zeigt dennoch, dafs es vortheilhaft sey, den Raum zwischen dem obersten Theile des Radkranzes und dem Schufsgerinne, das sogenannte *Freihängen* des Rads, nur geringe zu machen. Dagegen ist es nothwendig, dem ab-

fliefsenden Wasser das gehörige Gefälle zu geben, weil die Bewegung des Rads ausnehmend gehindert wird, wenn dasselbe mit dem Stauwasser in Berührung kommt. Fliefst das Wasser durch die Oeffnung einer Schütze, hinter welcher es noch aufgestaut ist, so mufs die Schütze lothrecht über dem Mittelpuncte des Rads stehn und das zuleitende Gerinne nur bis zu dieser lothrechten Linie reichen, wobei dann das in einer parabolischen Bahn herabstürzende Wasser in die dritte oder vierte Zelle von der vertical unter der Schütze befindlichen fallen wird. Von gröfster Wichtigkeit ist ferner die Geschwindigkeit des Rads, die zum Nachtheile des zu erhaltenden Effects meistens zu grofs genommen wird; inzwischen folgt aus dem, was in Beziehung auf die unterschlächtigen Räder hierüber bereits gesagt ist, dafs auch für die oberschlächtigen am besten $c = \frac{1}{2} v$ genommen werde[1]. Hierdurch wird dann zugleich auch die Schwungkraft kleiner, welche bekanntlich $= \frac{c^2}{2g \cdot R}$ ist und die Wirkung des Wasserdrucks vermindert. Eine Hauptfrage ist ferner, bei welchem Gefälle ein oberschlächtiges oder ein unterschlächtiges Rad vortheilhafter sey. Dafs ein zu geringes Gefälle überall kein oberschlächtiges Rad gestatte, versteht sich von selbst, indefs wird der Effect beider nach v. GERSTNER schon gleich, wenn das Gefälle 5,5 Fufs beträgt, vorausgesetzt, dafs das oberschlächtige auf die oben angegebene Weise gebaut sey, wird dagegen der Theilrifs in die Mitte des Radkranzes gesetzt, werden die Zellen nur zum vierten Theile ihres Inhalts mit Wasser gefüllt, erhalten die Setzschaufeln einen Winkel von 20°,5 ohne die Zahl derselben zu vermehren, so dafs also das Wasser vor dem Ausfliefsen tiefer herabsinkt, so liefern beide Räder schon bei 4,5 Fufs Gefälle eine gleiche Wirkung. Der Vortheil fällt noch mehr auf die Seite der oberschlächtigen, wenn

1 Bei vielen oberschlächtigen Rädern ist die Geschwindigkeit entschieden zu grofs, so dafs das am höchsten einfallende Wasser wegen der vom Rade durch die Wirkung des bereits tiefer herabgefallenen Wassers angenommenen Geschwindigkeit gar nicht drücken kann. Hieraus scheint es mir erklärbar, dafs der Nutzeffect der Räder nicht auf die Hälfte herabsinkt, wenn man das Aufschlagwasser im gleichen Verhältnisse vermindert, wie unter andern auch v. GERSTNER bei mehrern Versuchen gefunden zu haben versichert.

ihr Freihängen dadurch vermieden werden kann, daſs der Abfluſs des Wassers nach derjenigen Richtung statt findet, nach welcher sie sich bewegen.

c. Kropfräder.

Neuerdings sind die Kropfräder (Brusträder; *Brest-Wheels*), bei denen das Wasser seitwärts auffällt und daher das Schuſsgerinne eine Neigung nach der Biegung des Rads, einen Kropf erhält, namentlich in England, aber auch in der Schweiz und anderweitig sehr in Aufnahme gekommen, und da sie sowohl nach der Theorie als auch nach den Ergebnissen der Erfahrung mehr leisten, so verdient das Wesentliche ihrer Construction hier noch kurz erwähnt zu werden. Sie scheinen ursprünglich durch Smeaton angegeben worden zu seyn, indem die unterschlächtigen Kropfräder in England nach ihm *Smeaton'sche* Räder heiſsen[1], später aber hat man das bei ihnen zum Grunde liegende Princip auf verschiedene Weise in Anwendung gebracht. Von wesentlichem Nutzen ist es oft, das Schuſsgerinne nicht über das Rad hinzuführen, wobei das Wasser von oben herab auffällt, sondern es von der Seite in die Zellen flieſsen zu lassen. Hierdurch wird in vielen Fällen deswegen gewonnen, weil auf diese Weise ein geringeres Gefälle noch auf eine ähnliche Art als bei oberschlächtigen Rädern benutzt werden kann, abgerechnet daſs das Stauwasser dann weit leichter in der Richtung der Radbewegung abflieſst. Auſser diesem Gewinne ergiebt eine genauere Vergleichung, daſs bei den Kropfrädern ein geringerer Verlust der vorhandenen Kraft statt findet, als bei den oberschlächtigen, und dieses um so mehr, je höher das Gefälle überhaupt ist, so daſs den Kropfrädern unter jeder Bedingung der Vorzug gebührt. Dabei muſs die Breite des Rads so sehr vermehrt werden, daſs die Zellen nur zum vierten oder wohl gar nur bis zum sechsten Theile mit Wasser gefüllt sind, die Setzschaufeln erhalten dann einen Winkel von nur etwa 21 Graden mit

---

1 Eine schätzbare Schrift, welche von den Rädern überhaupt handelt, ist: Experimental Enquiry concern. the natural power of Wind and Water to turn Mills and other Machines. By J. Smeaton. Lond. 1796.

dem Theilrisse, ohne ihre Zahl bedeutend zu vermehren, um nicht das Gewicht des Rads zu sehr zu vergröfsern, hauptsächlich aber mufs die Geschwindigkeit des Rads nicht zu grofs seyn, indem viele Räder eben deswegen weit unter dem erwarteten Effecte zurückbleiben, weil ihre Umläufe zu schnell erfolgen. Die nach den bessern Principien gebauten neuern Räder haben deswegen auch eine aufserordentliche Breite, z. B. das zu Belper unweit Derby hat 15 Fufs Breite bei 21,5 Fufs Durchmesser und 14 Fufs Gefälle für den mittlern Wasserstand, alles im englischen Fufsmafs genommen.

Die Kropfräder können daher unmittelbar von der Grenze der oberschlächtigen anfangen, indem das Kropfgerinne das Wasser in tiefer liegende Zellen ausschüttet, folglich sein Ausgufs zunehmend tiefer herabgesenkt oder vielmehr die Höhe des obersten Theils des Radkranzes zunehmend höher über denselben hinausgerückt wird, bis der Ausflufs des Wassers mit dem Centrum des Rads in einer horizontalen Ebene liegt. Man könnte diese Räder insgesammt *oberschlächtige Kropfräder* nennen, die hiernach bis zu den *mittelschlächtigen*, als welche in der bezeichneten Grenze liegen müfsten, herabgehn würden. Von hieran fingen dann die *unterschlächtigen Kropfräder* an und gingen bis zu den sogenannten unterschlächtigen herab.

Ueber die in den verschiedenen Fällen zweckmäfsigste Richtung der Schaufeln findet man bedeutend von einander abweichende Vorschriften. Ist der Wasservorrath überwiegend grofs, so kann man nach Smeaton's anfänglicher Angabe für unterschlächtige Kropfräder auch solche wählen, deren Fläche auf dem Radkranze perpendiculär ist, die dann aber durch Bodenbreter bedeckt seyn müssen; bei weitem in den meisten Fällen aber verdienen die gekröpften Schaufeln den Vorzug, und für diese dürfte im Allgemeinen als Regel gelten, dafs das Wasser parallel mit den Satzschaufeln einfällt und lothrecht gegen die Kropfschaufeln stöfst. Rücksichtlich einer ausführlichern Erörterung dieser Aufgabe verweise ich auf die gröfsern Werke von v. Gerstner, Eytelwein[1], Neumann[2],

1 Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik. 2te Aufl. S. 258.

2 Der Wasser-, Mahl-, Mühlenbau. Berl. 1810. 4. 1stes Heft.

Buchanan[1], die bereits mehrerwähnten von Christian[2], Borgnis, Hachette, Langsdorf und andere. Aufserdem kann ihr Bau aus der Ansicht der bereits mitgetheilten Zeichnungen so leicht abstrahirt werden, dafs es mir überflüssig scheint, ihn noch durch eigene Figuren zu versinnlichen, um so mehr als dieses zugleich mit der Beschreibung der Schützen geschehn kann, über die es gut seyn wird, später noch einiges aufzuführen.

Jüngsthin hat Poncelet eine verbesserte Construction der unterschlächtigen Räder angegeben[3], die so viel Beifall in Frankreich gefunden hat, dafs dem Erfinder einer der vom Grafen Monthyon gestifteten Preise zuerkannt wurde und man diese neuen Räder mit dem Namen der Poncelet'schen bezeichnet. Durch die eigenthümliche Einrichtung dieser Räder wird in der Hauptsache beabsichtigt, dafs das Wasser in der Richtung der Schaufeln in die Zellen fliefsen, auf diesen wie auf der geneigten Ebene aufsteigen und dann durch den Rückstofs seine ganze Geschwindigkeit verlieren soll, die somit dem Rade zu Theil wird. Um daher den Schaufeln die hierzu erforderliche Krümmung zu geben, wird die Höhe des Radkranzes so angenommen, dafs sie nie weniger als den vierten Theil der ganzen Fallhöhe beträgt. Man fällt alsdann das Perpendikel Cb vom Centrum auf die äufsere Peripherie des Radkranzes, zieht die Linie bo so, dafs der Winkel $Cbo = 10°$ ist, zeichnet den Kreis $\alpha\gamma\beta$ auf $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ der Höhe des Radkranzes über der innern Peripherie des letztern, nimmt den Halbmesser $\gamma\varrho = \gamma b$ und zieht mit diesem den Bogen ϱb, so giebt dieser die Gestalt der Radschaufeln, deren Anzahl auf gleiche Weise als bei oberschlächtigen bestimmt wird. Hiernach kämen auf ein Rad von 4 bis 5 Meter Durchmesser ungefähr 36 bis 40 Schaufeln. Ein aus Kupfer sehr schön gearbeitetes Modell von etwa 1,5 Meter Durchmesser, welches ich im *Conservatoire des arts* zu Paris gesehn habe, liefert nach

Fig. 219.

---

1 Essay on Mill-work and other Machinery. Lond. 1814.

2 Mécanique industrielle. T. I. p. 308 ff.

3 Ann. Ch. et Phys. T. XXX. p. 136 u. 338. Mém. sur les roues hydrauliques verticales à aubes courbes cet. Par. 1826. 4. Mém. sur les roues hydrauliques à aubes courbes mues par dessous cet. Metz 1827. 4. Vergl. Hachette Traité élém. de Mécanique. p. 131.

den damit gemachten Proben ausgezeichnete Wirkungen und soll die nach der gewöhnlichen Methode gebauten unterschlächtigen Räder bei weitem übertreffen. Für diese Räder wird ein gegen den Horizont geneigtes Gefälle erfordert, wie die Figur dasselbe zeigt; auch ist darin die oft vorgeschlagene Einrichtung ausgedrückt, wonach für das abfliefsende Wasser in geringer Entfernung vom tiefsten Puncte des verticalen Halbmessers des Rads eine Vertiefung angebracht wird, so dafs der Boden unter dem Rade mit der Oberfläche des Stauwassers hinter demselben in einer horizontalen Ebene liegt.

Da es für die stärkste Wirkung der Räder von grofser Wichtigkeit ist, den Wasserzuflufs genau zu reguliren, so hat man neuerdings die Schützen auf vielfache Weise zu verbessern gesucht. Ohne hierüber ins Einzelne einzugehn, bemerke ich nur in der Kürze, dafs man die Schützenbreter zuweilen herabdrückt, um den Wasserzuflufs zu vermehren, wobei das Wasser dann über das Schützenbret überläuft oder auch bei vorhandener Stauung vor der Schütze[1] aus einer durch das herabgedrückte Schützenbret gebildeten gröfsern oder kleinern Oeffnung ausfliefst. Eine in neuern Zeiten in England zuweilen gemachte Einrichtung besteht darin, dafs die Oeffnung des Schufsgerinnes in einiger Entfernung vor dem Ausflusse des Wassers durch eine gewöhnliche gute und dauerhafte Schleuse verschlossen, die eigentliche Ausflufsöffnung aber nach der Krümmung des Rads zum dichtern Anschliefsen oder vielmehr gröfserer Annäherung an die Peripherie des Radkranzes gekrümmt und mit 2 bis 3 Zoll von einander abstehenden horizontalen Eisenstäben versehn wird, um gröfsere fremdartige Körper zurückzuhalten. Auf den Boden des (eisernen) Schufsgerinnes ist dicht hinter der eigentlichen, am weitesten vom Rade abstehenden Schütze ein breites Leder festgenagelt, welches vom Wasser gegen den Boden gedrückt wird, von da an sich über die eiserne Stange legt und mit dem andern Ende um eine Walze gewickelt ist, deren Zapfen an beiden Seiten in den Ringen zweier gezahnter Stangen ruhn, um durch diese vermittelst eines Getriebes aufgezogen und niedergelassen zu werden. Das Wasser fliefst dann blofs über diese Walze

1 Vor der Schütze nenne ich diejenige Seite, welche dem zufliefsenden Wasser und nicht dem Rade zugewandt ist.

nach dem Verhältnisse ihrer Höhe in geringerer oder gröfserer Menge; damit sich aber das Leder stets straff um die Walze wickele, indem diese sich beim Auf- und Herabgehn stets um ihre Axe dreht, ist um beide Enden der Walze ein starker Riemen gewunden, über eine Rolle geleitet und am andern Ende mit einem schweren Gewichte versehn. Man kann vermittelst dieser Vorrichtung allerdings die Menge des Wassers ganz nach Willkür reguliren. Ob aber das Leder im Wasser genugsam ausdauert, vermag ich nicht zu entscheiden[1].

d. Räder mit verticaler Axe.

Räder mit verticaler Axe giebt es allerdings, jedoch kenne ich solche, die auf die gewöhnliche Weise durch den Wasserstofs umgetrieben werden, nur aus Beschreibungen, und wage nicht zu entscheiden, wo etwa ein solches wirklich in Anwendung gebracht worden ist; jedoch erwähnt Barlow[2] sie als nicht ungewöhnlich für Mahlmühlen, wobei sie den Vortheil gewähren, dafs sie wenig Raum einnehmen und sehr einfach construirt sind, weil der Mühlstein unmittelbar an ihrer Axe befestigt wird, weswegen sie aber eine grofse Geschwindigkeit haben müssen. Ihre Construction ist sehr einfach, denn sie bestehn aus einer verticalen Axe, die wegen dieser ihrer Richtung eben nicht von grofser Stärke seyn mufs, mit einem horizontalen Rade am untern Ende, auf dessen Kranze die Schaufeln mit einiger Neigung gegen die Ebene desselben so aufgesetzt sind, dafs der Wasserstofs lothrecht gegen sie gerichtet ist und somit die Umdrehung des Rads

1 Wie auf verschiedene Weise die Mühlräder für die zahlreichen Gewerbe benutzt werden, kann ohne die Grenzen dieses Werks zu überschreiten hier nicht erörtert werden, eben so wenig auch die Art, wie man die Kraft der Mühlräder vermittelst des Dynamometers mifst, worüber Hachette und insbesondere Egen in ihren genannten Werken die beste Auskunft geben. Aufserdem findet man zahlreiche Vorschläge zur Verbesserung und Anwendung der Räder von Smart, Perkins u. a. in Transact. of the Soc. for encouragement of Arts, Manufactures and Commerce. Vergl. Parrot über Verbesserung im Baue der Mühlräder. Nürnb. 1795.

2 Encyclop. metrop. Mixed. Sc. T. I. p. 244. Ich erinnere mich, irgendwo ein solches gesehn zu haben, bin aber von seiner Wirkung nicht genauer unterrichtet.

bewirkt. Die Schaufeln müssen aber, um die gesammte Wirkung des Stofses zu erhalten, eine viermal so grofse Fläche haben, als die des Querschnitts der sie treffenden Wasserader beträgt, indem das Wasser im Schufsgerinne über der obern Fläche des Rads herabschiefst und zuletzt eine fast horizontale Richtung erhält, um die getroffenen Schaufeln mit ganzer Gewalt fortzustofsen, deren schräge Richtung mit sich bringt, dafs das von ihnen herabgleitende Wasser ihre Bewegung befördert.

Ungleich bekannter ist das Segner'sche Wasserrad oder Barker's Mühle ohne Rad und Trilling, wovon man fast in allen physikalischen Cabinetten ein Modell findet, jedoch vermisse ich eine Beschreibung und nähere Prüfung desselben in mehrern gröfsern Werken über die praktische Maschinenkunde. Die erste wissenschaftliche Erörterung des bei dieser Maschine wirksamen Princips, nämlich die Reaction eines aus einem Gefäfse strömenden Wasserstrahls gegen die diametral entgegenstehende Wand des Gefäfses, findet man in den Schriften des Johann Bernoulli[1], die Anwendung desselben auf die Umdrehung eines verticalen Cylinders und die hierauf beruhende Construction einer Mühle wurde durch Segner[2] bekannt gemacht. Die von ihm beschriebene und durch eine Figur erläuterte Maschine besteht aus einem verticalen Cylinder, welcher auf einem Zapfen ruht und am untern Theile mit 4 einander durchkreuzenden, perpendiculär auf die Axe des Cylinders gerichteten Röhren versehn ist, aus deren Seitenöffnungen das oben einfliefsende Wasser in horizontaler Richtung ausströmt. In der Axe des Cylinders befindet sich oben eine Spindel, welche durch einen horizontalen Balken geht und am obern Theile mit einem gezahnten Rade versehn ist, dessen Zähne in das verticale Getriebe derjenigen Spindel eingreifen, welche unmittelbar den Mühlstein umtreibt. Es ist also unrecht, wenn man vom Segner'schen Wasserrade und der Barker'schen Mühle als zwei verschiedenen Maschinen redet, wie gewöhnlich geschieht, denn die Mühle selbst ist durch Segner 25 Jahre früher angegeben worden, als Barker's ganz

---

1 Hydraulica. ed. 1732. u. in Opp. T. IV.

2 Machinae cuiusd. hydraulicae theoria geom. u. Computatio formae atque virium mach. hyd. nuper descriptae. Gott. 1750. 4.

ähnliche Construction bekannt wurde. Allerdings hat BARKER[1], dessen Maschine durch RUMSEY verbessert wurde, das obere gezahnte Rad ganz weggelassen und den Mühlstein unmittelbar an der Spindel des Cylinders befestigt, allein dieses ist keine eigentliche Verbesserung, vielmehr würde es unleugbar vortheilhafter seyn, das gezahnte Rad beizubehalten und hierdurch die Umlaufsgeschwindigkeit zu vermindern, als namentlich bei Mahlmühlen dem Cylinder und dem Mühlsteine die für den letztern nothwendige gröfsere Geschwindigkeit zu ertheilen.

Die in den Cabinetten befindlichen Modelle sind gewöhnlich von Weifsblech, unten mit einer runden Schüssel zur Aufnahme des Wassers versehn, oben aber pflegt die verlängerte Axe der Spindel durch eine feste runde Scheibe gesteckt und mit einer zweiten, dieser festen parallelen und beweglichen versehn zu seyn, die den Mühlstein vorstellt. Die in der Zeichnung dargestellte Figur zeigt die Maschine so, wie sie in der Wirklichkeit ausgeführt werden müfste. Hierbei ist CC eine feste Unterlage von Stein, auf welcher die massive Eisenplatte cc mit der Vertiefung zur Aufnahme des untern konischen Zapfens ruht, die man wegnehmen kann, falls sie zu sehr ausgeschliffen seyn sollte, nachdem der Cylinder durch Traghölzer auf der Unterlage CC zuerst unterstützt und dann vermittelst Keile gehörig gehoben ist. Der Cylinder A, welcher wohl am zweckmäfsigsten aus Bretern nach Art der Fässer mit Reifen zusammengefügt und nicht zu weit seyn müfste, um weniger Gewicht zu haben, auch etwas konisch, um die umgelegten Bänder gehörig anzutreiben, erhält oben eine Erweiterung rr zur Aufnahme des einfliefsenden Wassers aus dem Gerinne F, in welchem zwar das Wasser zur Erhaltung eines höhern Wasserdrucks kein Gefälle haben wird und dessen auch nicht bedarf, dennoch ist ein geringes kaum vermeidlich, und man thut daher wohl, den dadurch entstehenden Stofs so zu benutzen, dafs die Umdrehung des Cylinders dadurch auf keine Weise gehindert, womöglich dagegen etwas befördert wird. Die beiden einander diametral entgegenstehenden Röhren a und b mit den an den Enden einander gegenüberstehenden Aus-

Fig. 220.

1 Transactions of the Amer. Phil. Soc. T. III. p. 185. Philad. 1775.

flufsöffnungen α und β dienen als Hebelarme zur Umdrehung des Cylinders. Die in der Axe des Cylinders durch die erforderlichen Speichen befestigte Spindel q mit dem gezahnten Rade o und der Welle p sind an sich klar, auch läfst sich keine bestimmte Dimension der beiden letztern angeben, da diese vielmehr durch anderweitige Bedingungen erhalten wird.

Die Theorie dieses Rads ist gleich anfangs von SEGNER angegeben worden, nachher haben aber insbesondere L. EULER[1], KRAFT[2] und J. A. EULER[3] dieselbe ausführlich vorgetragen und zugleich auf die sämmtlichen dabei in Betrachtung kommenden Bedingungen Rücksicht genommen; auch BARKER's Mühle ist früher durch WARING[4], neuerdings durch EWART[5] genauer untersucht worden. Später hat MANNOURY-DECTOT[6] das nämliche Princip bei mehrern Mühlen nach dem Berichte von PRONY, PERIER und CARNOT mit grofsem Nutzen in Anwendung gebracht, und GILBERT erwähnt eine solche Mahlmühle, die zu Nörten bei Göttingen mehrere Jahre im Gange war. Endlich sind verschiedenen Angaben nach mehrere solche Mühlen in America und hauptsächlich in Rufsland wirklich und mit gutem Erfolge erbaut worden. Wenn man die Wirkung dieser Mühlen allseitig untersucht und zugleich die sämmtlichen dabei in Betrachtung kommenden Bedingungen berücksichtigt, so ist dieses allerdings eine weitläuftige und schwierige Aufgabe, dagegen aber lassen sich die Hauptelemente sehr leicht übersehn, die ich daher hier nur kurz anzugeben mich begnüge. Zuerst ist der Druck, welchen das Wasser nach der den Ausflufsöffnungen gegenüberstehenden Seite ausübt, wenn man vorläufig diese Maschine als stillstehend betrachtet, leicht aufzufinden, indem derselbe dem Gewichte eines Wassercylinders von der Basis des Flächeninhalts der Oeffnung und

---

1 Mém. de l'Acad. de Berlin 1750. p. 311. Ebend. 1754. p. 227. Nov. Comm. Pet. T. VI. p. 312.

2 Nov. Act. Ac. Petrop. T. X. p. 137.

3 Enodat. quaest. quomodo vis aquae cum maximo lucro ad molas circumagendas cet. impendi possit; praemio ornata a Soc. Gott. 1754.

4 Trans. of the Amer. Phil. Soc. T. III.

5 The Phil. Magaz. and Ann. of Phil. III. 416. Mit Anmerkungen von IVORY.

6 Moniteur 1813. Janv. 6me. Daraus in G. XLIII. 166.

der lothrechten Höhe vom Schwerpuncte jener Fläche bis zum Wasserspiegel gleich zu setzen ist. Hierbei finde ich jedoch die Frage nirgends erörtert, ob der ganze Inhalt jener Fläche der Oeffnung, oder nur der kleinere der zusammengezogenen Wasserader in Rechnung zu nehmen sey, bin aber geneigt, das Letztere anzunehmen, da die Zusammenziehung durch seitwärts zuströmende Wassertheilchen bewirkt wird, mithin nur eine diametral entgegenstehende Reaction des in lothrechter Richtung auf die Axe des zu bewegenden Cylinders ausströmenden Wassers statt finden kann. Hiernach mufs also bei der Berechnung der Coefficient $m^{(n)}$ für die *vena contracta* mit aufgenommen werden. Nach den oben bereits mitgetheilten Bestimmungen ist also zuerst die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers $v = 2\sqrt{gh}$, wenn v diese Geschwindigkeit in einer Secunde, g den Fallraum in dieser Zeit und h die lothrechte Höhe vom Schwerpuncte der Oeffnungsfläche bis zum (constanten) Wasserspiegel im Cylinder bezeichnet, und diesemnach beträgt die Menge des in einer Secunde ausströmenden Wassers $M = m^{(n)} f^2 v$, wenn f^2 den Quadratflächeninhalt der gesammten, in gleicher Höhe angenommenen, Ausflufsöffnungen bezeichnet. Soll hieraus das mechanische Moment des ausfliefsenden Wassers gefunden werden, so darf man nur berücksichtigen, dafs die Reaction ausströmender Flüssigkeiten dem Stofse gleich ist, welchen sie ausüben, und wir erhalten also, wie oben (unter a im Anf.) gezeigt worden ist, auch hier $Q = 70 f^2 2h$, oder das bewegende Moment gleicht dem Gewichte einer Wassersäule von der Basis des Flächeninhalts der zusammengezogenen Wasserader und der doppelten Höhe bis zum Wasserspiegel im Cylinder. Hiermit stimmen dem Wesen nach die Resultate der gesammten ausführlichern Untersuchungen überein, auch kann nicht in Frage seyn, dafs das hiernach gefundene Kraftmoment mit der Länge des Hebelarms vom Schwerpuncte der Ausströmungsöffnung bis zur Axe des Cylinders multiplicirt werden müsse; allein dann kommt noch die Schwungkraft hinzu, wodurch der Ausflufs befördert und also das Bewegungsmoment vermehrt wird[1].

1 Einige Schriftsteller legen auf diese Schwungkraft als Mittel zur Vermehrung der Wirkung einen grofsen Werth, allein dieses findet nur insofern statt, als dadurch die Menge des ausfliefsenden Wassers

Diese ist bekanntlich $k = \frac{v^2}{2gr}$, allein hierbei kann als Geschwindigkeit nur diejenige genommen werden, womit sich die Ausflufsöffnung bewegt. Aufserdem wirkt die Schwungkraft nicht blofs auf das ausfliefsende Wasser, sondern auch auf das im Cylinder enthaltene, bei letzterem aber der Schwere entgegen, also die Geschwindigkeit des Ausflusses vermindernd, indem bei einer gewissen Geschwindigkeit $\frac{v^2}{r} = 2g$ die Wirkung der Schwere ganz aufhört. Die Schwungkräfte beim Wasser im Cylinder und dem ausfliefsenden verhalten sich wie $R:r$, wenn der Halbmesser des Cylinders mit r, die Länge der Röhre von der Axe des Cylinders bis zur Ausflufsöffnung mit R bezeichnet werden, allein da bei gleichzeitigen Umdrehungen $v:V = r:R$, so verhalten sich $k:K = \frac{V^2 r^2}{R^2} : \frac{v^2 R^2}{r^2}$. Behalten wir also die Bezeichnung von f^2 bei, und wird die Geschwindigkeit der Oeffnung, woraus das Wasser fliefst, $= w$ gesetzt, so ist die in einer Secunde ausströmende Wassermenge

$$M = f^2 v + f^2 \frac{w^2}{2gR} - f^2 \frac{w^2}{2gr} \times \frac{r^2}{R^2}$$

$$= \left(v + \frac{w^2}{2gR} - \frac{w^2 r}{2gR^2}\right).$$

Wird dann das mechanische Moment des ausfliefsenden Wassers als ein Product der Masse in die Geschwindigkeit betrachtet, so kann diese Geschwindigkeit keine andere seyn, als die Differenz derjenigen, womit das Wasser ausfliefsen müfste, und derjenigen, womit die Ausströmungsöffnung sich nach entgegengesetzter Richtung bewegt, also $v - w$. Hiernach wäre $Q = M\,(v - w)$ oder

$$Q = f^2 \left(v + \frac{w^2}{2gR} - \frac{w^2 r}{2gR^2}\right) (v - w).$$

Wie grofs die Geschwindigkeit w im Verhältnifs zu v für den gröfsten Nutzeffect seyn müsse, ist schwer zu bestimmen, indefs scheint es mir auch hierbei am besten, $2w = v$ anzunehmen.

---

vermehrt wird, mithin ist bei dieser Mühle, wie bei allen andern, das Kraftmoment der Menge des Aufschlagwassers und seiner Fallhöhe proportional.

Ueber die Wirkungen dieser Maschine, verglichen mit denen der sonstigen Mühlräder, sind die Bestimmungen der Geometer sehr abweichend, indem einige sie sehr hoch schäzzen, andere aber ganz verwerfen. Für die letztere Ansicht entscheidet der Umstand, dafs sie der leichten Construction ungeachtet wenig oder überhaupt kaum in Gebrauch gekommen sind, was jedoch wohl hauptsächlich darin seinen Grund haben mag, dafs der gewöhnlichen Ansicht nach der Mühlstein unmittelbar durch den Cylinder umgetrieben werden soll, und da jener nothwendig eine beträchtliche Geschwindigkeit haben mufs, so wird hierdurch eine zu schnelle Bewegung der Maschine nothwendig, wodurch der Factor $v-w$ zu klein wird, indem für $v=w$ das Kraftmoment $Q=0$ werden würde. Euler gelangt indefs zu dem Resultate, dafs der Effect dieser Maschine bei gleicher Menge und Fallhöhe des Wassers viermal so grofs ist, als eines jeden andern Wasserrads, nach Ewart[1] aber ist derselbe zwar gröfser als bei unterschlächtigen Rädern, aber kleiner als bei gut gebauten oberschlächtigen[2]. Wenn man berücksichtigt, dafs bei der Segner'schen Mühle das ganze Gefälle von seinem höchsten Puncte bis nahe über das Stauwasser benutzt werden kann und kaum irgend ein Verlust an nutzlos abfliefsendem Wasser statt findet, was auf jeden Fall bei unterschlächtigen ganz unvermeidlich ist, da sowohl an den Seiten des Rads, als auch unter denselben einiger Zwischenraum gar nicht fehlen darf, dafs endlich diese Maschine weit leichter gebaut werden kann, als die nothwendig sehr schweren Mühlräder (wobei jedoch das Gewicht des ganzen zu tragenden Wassercylinders Berücksichtigung verdient), so fällt alles dieses zum Vortheil derselben aus, weswegen eine nähere Prüfung durch genaue Versuche allerdings wünschenswerth seyn würde.

M.

---

1 Philos. Magaz. and Ann. cet. T. III. p. 416.

2 Vergl. Langsdorf Handbuch der Maschinenlehre. Th. I. S. 171. Gregory Mechanics. 3d ed. 1815. T. II. p. 112. Eine etwas veränderte Maschine dieser Art beschreibt Mathon de la Cour in Rozier's Journ. de phys. 1775. Aug.

Radius vector.

Radius vector; Rayon vecteur; *Radius vector.*

Die gerade Linie, die von der Sonne gegen den in seiner Bahn fortgehenden Planeten gezogen wird und die daher selbst als einen Umlauf um die Sonne vollendend angesehn wird, heifst der *Radius vector.* Die Länge desselben giebt also in jeder Stellung des Planeten den Abstand des Planeten von der Sonne an. In Beziehung auf die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Planeten in ihren Bahnen fortbewegen, bezieht man sich auf diesen Radius vector, indem die zwischen zwei solchen von der Sonne aus bis an die Planetenbahn gezogenen Radien eingeschlossenen und von der Planetenbahn begrenzten Flächen gleich sind für Zwischenräume der Bahn, die der Planet in gleichen Zeiten durchläuft.

B.

Ramme.

Fistuca; Sonnette; *Pile-Engine.*

Man nennt Ramme eine jede Maschine, vermittelst deren Steine, Pfähle oder Röhren in die Erde eingeschlagen werden. Es giebt hauptsächlich zwei Arten, *Handrammen* und *Ramm-Maschinen.* Zu den erstern gehören die hölzernen Cylinder von 3 bis 4 Eufs Höhe, etwa 8 bis 10 Zoll Durchmesser am untern Ende, oben etwas verjüngt, an beiden oder mindestens am untern Ende mit einem eisernen Ringe versehn und oben mit einem durchgesteckten Stabe, dessen beide Enden als Handhaben dienen. Sie werden gebraucht, um beim Pflastern der Strafsen die Steine fester in den Pflastersand einzutreiben, indem ein Arbeiter sie an den Handhaben etwa einen Fufs hoch hebt und dann mit Gewalt herabstöfst. Ihnen ähnlich sind die Handrammen, vermittelst deren kürzere und dünnere Pfähle zu geringen Tiefen eingetrieben werden. Sie bestehn aus vier- oder mehrkantigen, auch runden hölzernen Stämmen, etwa 3 Fufs hoch und 1 bis 1,5 Fufs im Durchmesser, unten mit einem starken eisernen Ringe umgeben, oben mit mehrern, meistens bogenförmig gekrümmten Handhaben versehn, um von den Arbeitern gehoben und auf die Pfähle herabgestofsen zu werden.

Die gröſsern Rammen oder Rammmaschinen bestehn dem Wesen nach aus einem schwerern Klotze, welcher vermittelst eines Seils über einer Rolle gehoben wird, um dann auf den vertical stehenden Pfahl herabzufallen und letztern in die Erde einzutreiben. Bei minderer Wichtigkeit des aufzuführenden Baues, oder wenn der Widerstand des Pfahls gegen die von ihm zu tragende Last nicht so bedeutend verlangt wird, kann es genügen, drei Tragbäume an ihrem obern Ende zu einer Pyramide zusammenzubinden, die Rolle in der Spitze aufzuhängen und das Seil darüber zu ziehn, allein in der Regel wird das kostbare *Pilottiren* (das Einschlagen von Pfählen) nur bei groſsen und schweren Gebäuden oder bei Wasserbauten angewandt, indem man sich sonst mit dem Einbringen groſser und schwerer Steine oder dem Legen eines hölzernen Rostes bei nicht hinlänglich festem Grunde, so genanntem gewachsenen Boden, einer harten Thonschicht oder eines Steinlagers begnügt. Es ist dann im Ganzen auch vortheilhafter, von Anfang an ein dauerhaftes Gerüst aufzuführen, weil sonst der Zeitverlust und häufige Reparaturen unvermeidliche Kosten herbeiführen. Solche Gerüste sind nach den Umständen verschieden gebaut, bestehn aber im Allgemeinen aus folgenden wesentlichen Stücken. Die ganze Maschine ruht auf einem festen Schwellwerk A B C, welches mit eisernen Klammern hinlänglich verwahrt ist und fünf zu einer vierkantigen Pyramide vereinigte Balken trägt. Zwei dieser Träger stehn fast genau lothrecht, und haben in ihrer Mitte denjenigen Balken (die Laufruthe), an welchem der Rammklotz auf- und abgleitet, und woran letzterer so befestigt ist, daſs er sich zwar frei in verticaler Richtung bewegen, ihn jedoch nicht verlassen kann, wozu umschlingende Arme oder Zapfen in einer Nuth oder sonstige geeignete Vorrichtungen dienen. Oben befindet sich die eine Rolle, die *Rammscheibe*, oder es sind bei einem gröſsern Rammgerüste deren zwei angebracht, über die das Rammtau so geschlungen ist, wie die Zeichnung dieses ausdrückt.

Fig. 221.

Der *Rammklotz* D, auch *Rammbär* oder schlechtweg *Bär*, im Oesterreichischen *Hoyer*, genannt (mouton, billot; *ram*), besteht aus einem massiven hölzernen Blocke bis 5 Fuſs lang und 1,5 Fuſs im Durchmesser, welcher zu gröſserer Stärke noch mit drei starken eisernen Bändern umgeben und oben mit

einem dicken eisernen eingeschraubten Ringe versehn wird; dennoch aber ist die Gewalt des Aufschlagens so grofs, dafs derselbe, obwohl von gesundem Eichenholze und durch Bänder von 2 Zoll Breite und fast 0,5 Zoll Dicke gesichert, bei längerem Gebrauche zerspaltet. Für gröfsere Arbeiten ist es daher am besten, einen gufseisernen Rammklotz zu wählen, dessen Gewicht nicht kleiner als 500 und nicht gröfser als 2000 ℔ zu seyn pflegt. Ist der Pfahl bereits so tief eingetrieben, dafs der Rammklotz ihn nicht mehr bequem treffen kann, so wird über ihn ein unten mit einer eisernen Spitze versehener Balken, der *Rammknecht*, gestellt und die Stöfse pflanzen sich durch diesen zum eigentlichen Pfahle fort.

Der hauptsächlichste Unterschied der verschiedenen Rammmaschinen besteht in der Art, wie der Rammklotz gehoben wird. Bei den kleinern Maschinen, den *Lauframmen, Handzugrammen,* geschieht dieses durch Arbeiter, welche an den in der Zeichnung sichtbaren, an das Hauptseil geknüpften, unten mit kurzen, als Handhaben dienenden Stäben versehnen Seilen ziehn. Das Aufziehn des Rammklotzes geschieht mit Schnelligkeit, so dafs er noch einige Zolle höher fliegt, als er gezogen wird, und das Hauptseil bei seinem beginnenden Falle bereits völlig wieder erschlafft ist. Hierdurch fällt er theils aus gröfserer Höhe herab, theils wird er weniger durch das wieder herabzuziehende Seil am schnellern Fallen gehindert. Dieses Aufziehn mufs in einem gewissen Tacte geschehn, es folgen mehrere Züge, meistens 25 ohne Unterbrechung, die man eine *Hitze* nennt; hierdurch werden die Arbeiter über das mittlere Mafs ihrer Kräfte angestrengt, müssen daher in vielen Pausen ausruhn, und ihre nutzbare Kraft ist daher geringer als bei andern Arbeiten[1]. Ausführlich ist dieses durch F. J. v. GERSTNER[2] gezeigt worden, welcher die von ihm für die Kraftäufserung eines Arbeiters gegebene allgemeine Formel auch auf dieses Problem anwendet[3]. Hiernach ist nämlich die Kraftäufserung eines Arbeiters

---

1 Vergl. Art. *Kraft*. Bd. V. S. 988.

2 Haudbuch der Mechanik. Th. III. Prag 1833. S. 141.

3 Ebend. Th. I. Prag 1831. S. 13 ff. Dieses Werk war zur Zeit der Bearbeitung des Art. *Kraft* noch nicht erschienen und es kann also das hier kurz Gesagte als ein Nachtrag zu jenem angesehn werden.

$$K = k\left(2 - \frac{v}{c}\right)\left(2 - \frac{z}{t}\right),$$

worin k die *mittlere Kraft* eines Menschen, v die mittlere Geschwindigkeit, die zu 2,5 Fuſs in einer Secunde angenommen wird, c die wirklich angewandte, z die mittlere zu 8 Stunden festgesetzte und t die wirkliche Arbeitszeit bezeichnen. In dieser Formel können k, v und z verschiedene, die Grenzen der mittlern nicht allzusehr übersteigende Werthe erhalten, die sich einander dann gegenseitig so bedingen, daſs die gefundene Gröſse K mit den Ergebnissen der Erfahrung sehr gut übereinstimmt[1]. Ist daher die Geschwindigkeit und die Zeitdauer gegeben, so läſst sich diejenige Kraft finden, welche ein Mensch zur Wältigung einer bestimmten Last anwenden müſste, und wenn die letztere bestimmt ist, so ergiebt sich die erforderliche Zeit oder die Geschwindigkeit, da die zu hebende Last der anzuwendenden Kraft gleich seyn muſs. Wird dieses auf die Arbeit des Rammens angewandt, so nimmt v. Gerstner bei den gewöhnlichen Handrammen den Widerstands-Coefficienten $= \frac{7}{64}$ an, setzt den Verlust durch den schiefen Zug an den Seilen $= \frac{1}{7}$ und die Dauer des Zugs $= 1$ Secunde, so daſs deren also 3600 auf eine Stunde kommen. Diese Gröſsen substituirt erhält man für 12 Arbeiter, einen 400 ℔ schweren Rammklotz und 3,5 Fuſs Hubhöhe die Gleichung

$$12 \times \tfrac{6}{7} \times 25\left(2 - \frac{3,5}{2,5}\right)\left(2 - \frac{z}{8}\right) = 400\left(1 + \tfrac{7}{64}\right),$$

woraus $z = -7$ folgt, so daſs also eine Kraftanstrengung von 25 ℔ hierzu gar nicht ausreicht. Wollte man dagegen $z = 8$ annehmen und das unbekannte k finden, so wäre aus

$$12 \times \tfrac{6}{7} \times k\left(2, - \frac{3,5}{2,5}\right) = 443,75$$

Einen wichtigen Beitrag hierzu liefert ferner Coriolis in Calcul de l'effet des Machines. Par. 1829. 4. p. 253.

1 Der Mangel geometrischer Schärfe und Allgemeinheit dieses Ausdrucks fällt bald in die Augen. Ist nämlich $v = 2c$, da namentlich bei Pferden so oft die doppelte Geschwindigkeit in Anwendung kommt, so wird $K = o$, was gegen die Erfahrung streitet. Man könnte hierbei sagen, daſs die doppelte Geschwindigkeit die Hälfte der Arbeitszeit bedinge, aber auch dieses ist nicht in ganzer Strenge richtig.

$k = 71,9$ ℔, eine Kraft, welche kein Arbeiter leisten kann. Man gebraucht daher zum Ziehen der Rammseile nur starke Arbeiter, bei denen $k = 30$ und $v = \frac{10}{3}$ angenommen wird, wonach aus

$$12 \times \tfrac{6}{7} \times 30 \left(2 - \frac{3,5}{\frac{10}{3}}\right) \left(2 - \frac{z}{8}\right) = 443,75$$

die Zeit $z = 3,9$ Stunden folgt, welches mit Coulomb's Erfahrung sehr genau übereinstimmt, wonach die Arbeiter beim Ziehen der Rammen nur halb so viel leisten, als bei andern Maschinen. Wird die Zeit $z = 3,9$ Stunden und die Höhe des Hubes $= 3,5$ Fufs angenommen, so ist $3,9 \times 3600 \times 3,5 = 49140$ die ganze Höhe, auf welche der 400 ℔ schwere Rammklotz durch 12 Arbeiter in einem Tage gehoben wird, also $M = \frac{49140 \times 400}{12} = 1'638000$ ℔ das Bewegungsmoment eines ungewöhnlich starken Arbeiters in einem Tage, statt dafs es für diese nach der angenommenen Zeit und Geschwindigkeit

$$M = 3600 \times 8 \times \tfrac{10}{3} \times 30 = 2'880000$$

und für gewöhnliche Arbeiter

$$M = 3600 \times 8 \times 2,5 \times 25 = 1'800000$$

seyn müfste. Für schwerere Rammklötze und mehr Arbeiter, die daher einen gröfsern Flächenraum einnehmen, fällt das Resultat noch schlechter aus. Läfst man jedoch die Arbeiter abwechseln, so kann auf diese Weise die schnellste Förderung der Sache erreicht werden, weil durch keine der anderweitig angewandten Vorrichtungen eine so schnelle Bewegung des Rammklotzes erfolgt. Da jedoch auch für diesen Zweck, aufser der Kraft der Menschen, die Anwendung jeder andern zu Gebote steht, namentlich die der Pferde, des Wassers und des Dampfs, die einer willkürlichen Steigerung fähig sind, so unterliegt es keinem Zweifel, dafs mit Rücksicht auf die örtlichen Verhältnisse dem Rammklotze eine gleich schnelle und obendrein eine minder lange unterbrochene Bewegung ertheilt werden könnte, wenn nicht die anderweitigen, bei dieser Operation gleichfalls zu berücksichtigenden Bedingungen die Anwendung künstlicher Maschinen hinderten und die Hydrotecten auf die bisher üblichen einfachen beschränkten. Hierauf beruhn die Verschiedenheiten in der Construction der Ram-

men. Die eine derselben, eine sehr gewöhnliche, ist in der Figur ausgedrückt. Das Rammtau wird um die Walze K gewunden und diese vermittelst der beiden Haspel N, N um ihre Axe gedreht, statt deren man auch geeignete Kurbeln anbringen könnte. Bei dieser und ähnlichen Constructionen wird der Ring des Rammklotzes unten durch eine Zange ergriffen, die so eingerichtet ist, dafs sie sich oben von selbst öffnet und den Rammbär herabfallen läfst. Ein sehr bekannt gewordener Mechanismus ist derjenige, welchen Voloué angegeben hat[1] und wovon beim Einrammen der Pfähle für die Westminsterbrücke in London Gebrauch gemacht wurde. Dieser besteht im Wesentlichen aus einer horizontalen, durch Pferde bewegten Trommel, um welche das Rammtau gewunden wurde. Eine Beschreibung sonstiger in Vorschlag gebrachter Vorrichtungen[2] liegt zu sehr aufser den Grenzen dieses Werks. Die Vorrichtungen dieser Art nennt man *Kunstrammen*, *Maschinenschlagwerke*.

Bei den ältern Rammmaschinen mit schweren Rammklötzen benutzte man die Kraft der Pferde, weil sie wohlfeiler ist als die der Menschen. Inzwischen sind solche grofse Maschinen schwer zu transportiren, erfordern einen grofsen, nicht allezeit bequem zu erhaltenden Raum, und aufserdem müssen die Pfähle beschlagen werden, wenn sie den Schlägen der bis zu 1500 ℔ und darüber schweren Rammklötze widerstehn sollen. Man wandte daher allgemein und namentlich in Frankreich ohne Ausnahme die durch Menschen gehobenen Rammklötze (bei der *Sonnette à tiraude*) von 300 bis 400 Kilogrammen Gewicht an[3]. Inzwischen gab Vauvilliers den Rammmaschinen mit der Zange (*Sonnette à déclic*) eine Einrichtung, welche entschiedene Vorzüge hat, indem sie einfach ist,

1 Belidor Architect. hydraul. T. I. P. II. p. 107. Vergl. J. Ferguson Lectures on select subjets. Lond. 1790. p. 98. Th. Young Lectures cet. T. I. p. 225.

2 Aeltere sind von Lahire in Mém. de l'Ac. 1707. p. 188; von Camus Ebend. 1713. u. Mach. App. T. III. p. 3.; von Vergier in Mach. App. T. III. p. 189.; von Martin in Mém. de l'Ac. 1742. Hist. p. 156.; von l'Herbette Ebend. 1759. p. 236. Die vollständigste Kenntnifs giebt Eytelwein's praktische Anweisung zur Wasserbaukunst. Berlin 1809. Heft. I. S. 26 ff.

3 Sganzin Cours de Construction, à l'usage de l'École polytechnique. Année 1809. p. 174.

grofse Geschwindigkeit zuläfst, für Menschen und Pferde eingerichtet werden kann, den Rammklotz zu sehr ungleichen Höhen zu heben gestattet und genauen Berechnungen gemäfs das Einrammen der Pfähle unter gleichen Bedingungen mit nur ungefähr dem fünften Theile der Kosten bewirkt. Der Rammbär wiegt bei dieser Maschine nicht mehr als gleichfalls 300 bis 400 Kilogramme, ist von Holz, mit eisernen Bändern beschlagen, ohne Ring, welcher das Seil leicht zerscheuert, indem dieses vielmehr auf die aus der Figur ersichtliche Weise um ihn geschlungen wird, und gleitet durch die Arme A, A' regulirt zwischen den beiden Balken NQ, die hierbei die sogenannte *Laufruthe* bilden. Das andere Ende des Rammtaues wird um eine dicke Walze gewunden, welche um die Zapfen AB leicht beweglich umläuft. Ihre Umdrehung geschieht vermittelst des gezahnten Rads CD durch das Getriebe P, welches auf der vierkantigen Stange NN' verschiebbar ist. Man sieht ohne weitere Erläuterung, dafs letztere mit den runden Theilen in den Lagern qq' ruhend durch die Kurbeln MM' umgedreht wird, jedoch kann diese Umdrehung auch leicht durch Pferde vermittelst eines Rads geschehn. Der um den Zapfen O bewegliche Hebel Qr hat an seinem kürzern Ende r einen Ring, in welchem sich ein Kranz am Getriebe P frei umdreht. Ist der Rammbär zur erforderlichen Höhe gehoben, so wird der Hebelarm Q zur Seite gedrückt und der andere Arm r schiebt das Getriebe P aus den Zähnen des Rads, weshalb die Trommel D zurückschnellt und der Rammklotz herabfällt; schiebt man demnach den längern Hebelarm wieder bis gegen den Anhaltpunct L, so hat das Getriebe wieder gefafst und das Rad bewegt sich wie zuvor. Um endlich das Rad, wenn es nöthig ist, festzustellen, schiebt man den Nagel xy zwischen die Speichen desselben [1].

Fig. 222.

Fig. 223.

Noch vorzüglicher scheint mir diejenige Construction der Kunstramme, welche durch den Wasserbaudirector Brequem in Wien erfunden, von diesem bei den Bauten an der Donau unter Kaiser Joseph angewandt und später durch Franz Joseph und Franz Anton v. Gerstner bei wiederholter praktischer Anwendung als sehr brauchbar befunden wur-

1 Hachette Traité élém. des Machines p. 413.

de[1]. Sie gewährt nicht blofs den Vortheil der unausgesetzten und schnellern Arbeit, sondern auch die leichte Anwendung der Pferde statt der Menschen, den Gebrauch sehr schwerer Rammbären und die Möglichkeit, der Laufruthe eine gegen den Horizont geneigte Richtung zu geben, um Pfähle in schiefer Richtung einzurammen. Mit Uebergehung einer Beschreibung des Schwellwerks will ich nur bemerken, dafs die Laufruthe JT auf dem Schieber JM befestigt ist, durch dessen Verschieben und Feststellen vermittelst eines Nagels sie in dem Balken U verschiebbar in eine schräge Lage gebracht werden kann. Das Rammtau ist an die Zange W geknüpft, läuft dann über das Rad E′ und von da herabwärts über ein zweites etwas schräg gerichtetes E zur Trommel lm, welche aus zwei parallelen Scheiben mit zwischengesteckten Stäben besteht. Die Trommel ruht mit einer zweiten untern Scheibe oo auf dem verticalen Tummelbaume K, welcher unten auf einem eisernen Zapfen ruht und oben eine im Querbalken P′ Q′ drehbare Spindel trägt, die zugleich mitten durch die Scheiben der Trommel gesteckt ist. Durch den Tummelbaum sind 12 oder mehr hinlänglich starke und zu gröfserer Festigkeit in ihrer Mitte durch Querhölzer gesteifte Handhaben n, n′ gesteckt, an deren äufsern abgerundeten Enden die erforderlichen Arbeiter die Umdrehung bewirken. Bei der in Wien gebrauchten Maschine waren diese Stangen mit Federn versehn, die zur Controle der Arbeiter mit 25 oder 30 ℔ Kraft gedrückt werden mufsten, wenn nicht der folgende Arbeiter dem Vordermann auf die Fersen treten sollte; es waren meistens 18 bis 24 Arbeiter angestellt, und das Gewicht des Rammbären konnte daher 16 bis 20 Centner betragen. Der Rammbär kann bis zu beliebiger Höhe gehoben werden, auf welcher die Zange sich von selbst öffnet und ihn frei an dem Laufbalken herabgleiten läfst. Sobald dieses geschieht, hebt ein Arbeiter den Arm q des in s beweglichen Hebels, welcher durch die Feder unterhalb r stets herabgedrückt wird, der andere Arm zieht den Riegel rp herab, welcher in eins der acht Löcher in der Scheibe oo fafst und die Trommel nöthigt, gleich-

Fig. 224.

1 v. Gerstner Handbuch der Mechanik u. s. w. Th. III. Prag 1832. S. 129. Dort findet man zugleich eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Rammen.

zeitig mit dem Tummelbaume umzulaufen. Im Augenblicke der Auslösung des Riegels läuft die Trommel frei um die eiserne Spindel, indem das Rammtau durch die Zange und den Halter derselben W herabgezogen wird, worauf die Zange den Rammbär wieder fafst und das Aufziehn desselben abermals beginnt. Damit jedoch das Umlaufen der Trommel nicht zu schnell geschehe, drückt ein anderer Arbeiter den Arm t des in u beweglichen Hebels nieder, damit der andere Arm desselben v gegen die Scheibe drücke und diese bremse. Es ergiebt sich leicht, dafs der Tummelbaum K auch durch Pferde umgedreht werden kann. In diesem von den Erfindern der Maschine nicht eigens erwähnten Falle wäre erforderlich, unten am Tummelbaume noch einen Hebel anzubringen, um denselben während des Falls des Rammbären und der Zange zu bremsen, damit die Pferde schneller gehn können, ohne Gefahr vornüber zu fallen, wenn die Last sich plötzlich vermindert.

Dafs die nach v. Gerstner in mehrern Fällen mit Nutzen anzuwendenden schwerern Rammbären am besten aus Gufseisen verfertigt werden, ist bereits erwähnt, und man ersieht aus der Zeichnung leicht die ganze Gestalt derselben. (Fig. 225.) Auch die Zange und der bei ihr vorhandene Mechanismus wird auf diese Weise leicht erkannt. (Fig. 226.) Ein massiver Klotz X ist so eingerichtet, dafs er gleichfalls an der Laufruthe leicht herabgleitet und vermittelst des an einem Ringe befestigten Rammtaues aufgezogen wird. Auf ihm sind die beiden Stücke der Zange befestigt, deren untere Arme lothrecht herabhängen und sich dadurch von selbst schliefsen. Die obern gebogenen Arme dagegen werden zwischen den beiden, in der gehörigen Höhe angebrachten Balken-Enden U, V zusammengedrückt, öffnen dadurch die untere Zange, die demnächst beim Herabfallen sich von selbst wieder öffnet und den Halter des Rammbären ergreift, während das Rammtau zwischen den obern Armen stets frei herabhängt. Zum Ueberflusse möge noch bemerkt werden, dafs die im Balken RR′ sichtbaren Löcher dazu dienen, um Sprossen hindurch zu stecken, die sonach eine Leiter bilden, auf welcher man zur obern Rolle gelangen kann[1].

---

1 Aus der Praxis entnommene Angaben über die Leistungen der

Die wichtigste Aufgabe in Beziehung auf die Rammen ist die Auffindung der Wirkung, welche dieselben leisten[1], da vermittelst derselben die Pfähle so fest eingerammt werden müssen, dafs sie die über ihnen aufgehäufte Last ohne herabzusinken zu tragen vermögen. Im Allgemeinen kommen hierbei zwei Fälle in Betrachtung. Zuerst kann nämlich der Fall statt finden, dafs in einer gewissen Tiefe, bis zu welcher man jedoch nicht graben will oder wegen örtlicher Hindernisse nicht graben kann, ein festes Stein- oder Thonlager vorhanden ist, bis auf welches die Pfähle eingetrieben werden müssen. In diesem Falle ist die Aufgabe sehr einfach; indem man das Schlagen so lange fortsetzt, bis der Pfahl diese bekannte Tiefe erreicht hat und also fest aufsitzt. Derselbe widersteht dann vermöge seiner rückwirkenden Festigkeit, die so grofs ist, dafs man ihn sicher mit jedem vorkommenden Gewichte belasten kann[2]. In andern Fällen widersteht der Pfahl der ihn drückenden Last durch die Reibung, die er in der Erde erleidet, und die Nothwendigkeit, den unter ihm befindlichen Erdboden beim tiefern Eindringen zur Seite zu drücken; er wird daher durch das Rammen stets tiefer herabgehn, bis die Schläge den Widerstand gar nicht mehr zu überwinden vermögen und er also nicht weiter sinkt, oder nur so wenig, dafs diese Gröfse eine ganz unbedeutende wird, wonach also seine Belastung in jenem Falle die Kraft des Rammklotzes nicht übersteigen, in diesem dagegen etwas unter derselben bleiben mufs. Es kommt diesemnach darauf an aufzufinden, wie grofs die Wirkung der Rammklötze bei gegebenem Gewichte und bekannter Fallhöhe derselben sey. Diese Gröfsen aufzufinden, giebt es hauptsächlich zwei Methoden.

A. Nach der ersten Methode betrachtet man den Ramm-

Rammmaschinen findet man in den Werken über Wasserbaukunst, z. B. Perronnet Description des projets et de la construction des ponts de Neuilly cet. avec suppl. III vol. fol. Wiebeking Beiträge zur Wasser-, Brücken- und Strafsenbaukunde u. s. w. München 1808 — 10. Dessen Beiträge zum practischen Wasserbau u. z. Maschinenlehre. Düsseldorf 1792. 4.

1 Ausführliche Untersuchungen hierüber findet man in Hutton's Tracts on mathemat. and philos. subjects. III vol. 8. Lond. 1812. T. III. p. 392.

2 Vergl. *Cohaesion* Bd. II. S. 161.

klotz und den Pfahl als stofsende und gestofsene Körper, untersucht die Kraft der Bewegung, welche sie hierdurch erhalten, und dieser ist dann der Widerstand direct proportional[1]. Der Rammklotz ist ein fallender Körper, und erhält seine Geschwindigkeit durch den freien Fall, welcher zwar durch das Nachziehn des Seils und die Reibung an der Laufruthe etwas gehindert wird, allein bei der obendrein geringen Fallhöhe kann dieses Hindernifs vernachlässigt oder etwa der normale Fallraum etwas gering angenommen werden. Es ist aber die Geschwindigkeit eines frei aus der Höhe s fallenden Körpers $v = 2\sqrt{gs}$, wenn g den Fallraum in 1 Sexagesimalsecunde bezeichnet[2]. Mit dieser Geschwindigkeit stöfst der Rammbär gegen den als ruhend angenommenen Pfahl, und die dem letztern ertheilte Geschwindigkeit kann also gefunden werden, wenn die Masse (das Gewicht) des Rammklotzes und des Pfahls bekannt sind. Ist die Masse des erstern gleich P, des letztern $= Q$, so ist für vollkommen harte Körper die Geschwindigkeit des Pfahls nach dem Stofse

$$v' = \frac{vP}{P+Q},$$

für elastische Körper aber, deren Elasticität als vollkommen angenommen $= 1$, als unvollkommen aber $= n$ ist, wobei n allezeit kleiner als 1 seyn mufs, wird

$$v' = \frac{vP(1+n)}{P+Q} = \frac{2(1+n)P\sqrt{gs}}{P+Q},$$

mit welcher Geschwindigkeit der Pfahl bis zur Tiefe $= e$ in die Erde dringt, wobei dieselbe durch den Widerstand des Erdreichs aufgehoben wird. Allerdings ist dieser Widerstand keine constante Gröfse, wächst vielmehr mit der zunehmenden Tiefe, und man stellt daher die Berechnung nur erst dann an, wenn e sehr klein und in mehrern wiederholten Schlägen sehr nahe gleich ist, daher als constant gelten kann. Ist R der

---

1 Dieser Methode bedienen sich die meisten; unter andern handeln hierüber am ausführlichsten Woltmann über den Effect des Ramms zum Eintreiben der Pfähle. Gött. 1804. Eytelwein practische Anweisung zur Wasserbaukunst. Berl. 1809. Aus ihnen Brix Elementar-Lehrbuch d. dynamischen Wissenschaften. Berlin 1831. Th. III. S. 167.

2 Vergl. *Fall.* Bd. IV. S. 6.

Widerstand, so ist $R - Q$ die Ueberwucht, welche die Anfangsgeschwindigkeit v' des Pfahls am Ende des Wegs vernichtet, und die zugehörige beschleunigte Geschwindigkeit ist

$$g \cdot \frac{R - Q}{Q}.$$ Hiernach erhält man

$$v' = 2\sqrt{g \cdot \frac{R - Q}{Q} \cdot e}$$

und hieraus $R - Q = \frac{v'^2 Q}{4g \cdot e}$,

worin der Werth von v' substituirt

$$R - Q = \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{P^2 Q (1 + n)^2}{e (P + Q)^2},$$

und da $\frac{v^2}{4g} = s$ ist, dieses substituirt

$$R - Q = \frac{s P^2 Q (1 + n)^2}{e (P + Q)^2}$$

zur Auffindung der Last dient, womit der Pfahl aufser seinem eignen Gewichte noch belastet werden kann, ohne tiefer einzusinken, was man seine theoretisch bestimmte Tragkraft nennen kann. Bezeichnet man diese durch T, so ist offenbar $T = R - Q$, also

$$T = \frac{s P^2 Q (1 + n)^2}{e (P + Q)^2}.$$

Hierin wird T um soviel gröfser, je vollkommener die Elasticität der stofsenden Körper ist, in welchem Falle $n = 1$ seyn würde. Die meisten Hydrotecten, namentlich Woltmann und Eytelwein, nehmen an, die stofsenden Körper seyen vollkommen hart, und in diesem Falle wäre

$$T = \frac{s P^2 Q}{e (P + Q)^2} \; \ldots\ldots \; \mathrm{I)}$$

als der kleinste Werth, welchen die Tragkraft der Pfähle erreicht. Inzwischen gesteht doch Eytelwein zu, dafs einige Elasticität der stofsenden Körper beim Rammen anzunehmen sey, und Brix bemerkt, man sehe deutlich während der letzten Hitzen den aufschlagenden Rammklotz wieder in die Höhe springen. Wollte man hiernach die Elasticität als vollkommen annehmen, so würde $n = 1$, also $(1 + n)^2 = 4$, und der erhaltene Werth müfste sonach mit 4 multiplicirt werden. Der

Sicherheit wegen wendet man jedoch in der Praxis bloſs die angenommene Formel an.

Es kommen dann aber noch zwei Fragen in Betrachtung, nämlich zuerst, wie klein muſs e werden, oder wie tief darf der Pfahl bei den letzten Schlägen noch einsinken, und zweitens wie darf sich die wirkliche Belastung zu der theoretisch gefundenen verhalten, wenn man mit Sicherheit über einem pilottirten Roste bauen will. Läſst man die letzte Frage einstweilen unbeantwortet, indem man allgemein $\frac{1}{m}$ der theoretisch gefundenen Tragkraft als praktisch anwendbar betrachtet, so wird die wirkliche Belastung

$$T' = \frac{s P^2 Q}{m . e (P + Q)^2}$$

und hieraus $e = \frac{s P^2 Q}{m T' (P + Q)^2}$.

Die Bestimmung von e finde ich verschieden, zu 6, 5, 3 und auch wohl 2 Zoll Senkung bei der letzten Hitze von 25 Schlägen, wonach also $e = \frac{6}{25}$ bis $\frac{2}{25}$ Zoll werden würde. V. Langsdorf[1] bemerkt, daſs die Pfähle wegen der Elasticität des Bodens zuweilen nach dem Schlage wieder emporgedrückt werden und es daher den Anschein habe, als ob der Werth von e viel kleiner sey, wenn nämlich das Einsinken noch 1 Lin. betrage, der Pfahl aber 0,75 Lin. wieder steige, und daher nur 0,25 Lin. eingedrungen sey, wonach also T' um das Vierfache zu groſs gefunden würde. Diesemnach soll das Rammen so lange fortgesetzt werden, bis der Pfahl durch die letzten 30 Schläge nur noch 2 bis 3 Lin. sinkt, und dann könne man $e = \frac{1}{48}$ annehmen. Inzwischen ist die Gröſse von 2 und selbst von 3 Linien so gering, daſs sie beim wirklichen Rammen nicht füglich gemessen werden kann, insbesondere bei starken Pfählen; denn wenn das Einrammen nicht ins Wasser geschieht, so wird der den Pfahl umgebende Boden durch die heftigen Schläge und die sie begleitende Erschütterung stets etwas aufgelockert und gewährt keine für so feine Messungen hinlänglich ebene Fläche, der Pfahl selbst aber

---

1 Ausführliches System der Maschinenkunde u. s. w. Heidelb. 1826. 4. Th. I. S. 112.

wird an seinem obern Theile leicht etwas zusammengedrückt, zuweilen auch rauh und dadurch für eine solche Messung zu wenig eben, so dafs er bei völligem Stillstande dennoch etwas gesunken zu seyn scheinen könnte. Soll daher der Werth von e überhaupt mit in Rechnung kommen, so scheint es am besten, hierfür 2 bis 3 Zoll in der letzten Hitze von 25 Schlägen als Regel anzunehmen, und dann dahin zu sehn, dafs es nicht zu grofs durch die vorgenommene Messung bestimmt werde. Es versteht sich von selbst, dafs, wenn man dasselbe $= 0$ annehmen und so in die Formel einführen wollte, wonach also $T = \infty$ werden müfste, dieses zu einem ganz falschen Resultate führen würde, da die Tragkraft eines solchen Pfahls auf jeden Fall nicht unendlich werden kann; allein dieses liegt auch nicht im Sinne der Formel, insofern eine unendliche Belastung überhaupt undenkbar ist, der analytische Ausdruck aber nur den Widerstand angiebt, welchen der Pfahl einer endlichen Belastung entgegensetzt, und dieser ist wirklich unendlich grofs, d. h. der Pfahl sinkt gar nicht, so lange die Belastung diejenige Gröfse nicht übersteigt, welcher derselbe beim Rammen bereits widerstanden hat.

In Beziehung auf die zweite Frage, nämlich den wievielsten Theil der theoretisch gefundenen Belastung man dem Pfahle wirklich mit Sicherheit anvertraun dürfe, glaube ich nicht zu irren, dafs die letztere nicht blofs gleich grofs, sondern selbst noch gröfser seyn könne, als die erstere, sobald der Pfahl zum Stillstande gebracht worden ist, oder während der letzten Hitze von 25 Schlägen nicht tiefer als einen Zoll sinkt, wovon ohnehin der gröfste Theil auf die ersten Schläge und ein geringer auf das Zusammendrücken des Pfahlkopfs kommt Die Belastung geschieht nämlich nicht sogleich nach Beendigung des Rammens mit der ganzen Last, sondern allmälig; unterdefs legt sich das Erdreich fester an den Pfahl an und er wird zunehmend unbeweglicher, ebenso wie es bei einem Wagen, einer Schleife, einer Schraube und überall, wo die Reibung zu überwinden ist, nach einigem Stillstande einer weit gröfsern Kraft bedarf, um die Bewegung wieder anzufangen, als diejenige war, welche vorher angewandt wurde. Wenn daher v. Langsdorf behauptet, die Erfahrung ergebe, dafs Gebäude, deren Fundament anfangs hinlänglich widerstand, dennoch nach Jahren sich senkten, so kann es sehr

wohl seyn, dafs entweder die Tragkraft aus einer unrichtigen Bestimmung des Rammklotzgewichts und der Fallhöhe falsch berechnet wurde, oder dafs anderweitige Ursachen das Erdreich allmälig erweichten. Gegen das Letztere ist kein Mittel aufzufinden, im Allgemeinen aber giebt WOLTMANN die Regel, dafs man in gewöhnlichen Fällen die Hälfte oder den dritten Theil, bei sehr wichtigen Gebäuden, als Brücken, Leuchtthürmen u. s. w., nur den zehnten oder selbst zwanzigsten Theil der theoretisch bestimmten Belastung anwenden solle, nach EYTELWEIN soll dieses nur im Allgemeinen der vierte, nach v. LANGSDORF nur der zwölfte Theil seyn, was jedoch, wenn richtig gerechnet worden und der Pfahl während der letzten Hitze von 30 Schlägen wirklich nur 2 bis 3 Linien gesunken ist, hierfür aber e nur $\frac{1}{18}$ Fufs statt $\frac{1}{30.48}$ Fufs angenommen wird, zu einer übergrofsen und kostspieligen Vorsicht führen würde. Nach MANGER[1] widerstanden die bei Potsdam eingeschlagenen Pfähle 20 Jahre einer Last von 270 Centn., ohne nachzugeben, und dennoch waren sie bei einem Gewichte von 10 Centn., einem Rammklotze von gleichem Gewichte und einer Fallhöhe von 5 Fufs während der letzten Hitze von 25 Schlägen noch 5 Zoll eingetrieben worden, wonach also

$$T = \frac{60 \times 10^2 \times 10}{\frac{1}{5} \times (10+10)^2} = 750 \text{ Centn.},$$

also nur das 2,5 fache der Belastung beträgt. Nach dieser und andern Erfahrungen nimmt daher BRIX an, dafs in Uebereinstimmung mit EYTELWEIN für gewöhnliche Bauten der vierte und für besonders wichtige der sechste Theil der theoretisch bestimmten Tragkraft mit Sicherheit als Belastung genommen werden könne. Hiernach wäre also m = 4 oder = 6, und man erhält

$$T' = \frac{sP^2Q}{4e(P+Q)^2} \text{ oder } T'' = \frac{sP^2Q}{6e(P+Q)^2} \ldots\ldots \text{II)}$$

Die Gröfse e wird nach der bisherigen Bestimmung gefunden, nachdem eine gewisse Anzahl von Schlägen beendigt ist. Heifst letztere n und wird ne = E genommen, so ist

$$E = \frac{nsP^2Q}{mT(P+Q)^2} \ldots\ldots\ldots \text{III)}$$

---

1 Beiträge zur practischen Baukunst. Potsd. 1786. S. 231.

der Effect des Rammklotzes, welcher auch bei verschiedenen und unter ungleichen Bedingungen wirkenden Maschinen verglichen werden kann.

Ohne das Problem des Rammens weiter im Einzelnen zu verfolgen, will ich bloſs im Allgemeinen bemerken, daſs nach den theoretischen Untersuchungen von Lambert[1] der Effect der Rammmaschine am gröſsten ist, wenn die Gewichte des Pfahls und des Rammbären einander gleich sind, nach Woltmann und Eytelwein dagegen soll der letztere so schwer seyn, als die übrigen Umstände zulassen, was aus anderweitigen Gründen wohl als richtig anzusehn ist. Ferner geht aus der Formel hervor, daſs die Gewalt des Rammbären der Fallhöhe direct proportional ist, weswegen bei groſsen Bauten die Kunstramme auſser den bereits erwähnten Gründen den Vorzug hat. Ferner rechnet man meistens auf 1 Centn. des Rammklotz-Gewichts 3 Arbeiter oder auf 3 Centn. 10 Arbeiter, jedoch müssen diese in beiden Fällen über das gewöhnliche Mittel stark seyn; denn im ersten Falle beträgt der Kraftaufwand k eines jeden 33,3, im zweiten 30 ℔, und wenn man nach v. Gerstner's oben mitgetheilter Angabe für den schiefen Zug noch $\frac{1}{7}$ hinzusetzt, ohne den Widerstands-Coefficienten zu berücksichtigen, welcher im Gewichte des Rammbären schon enthalten seyn muſs, im ersten 38,1, im letzten 34,28 ℔. Es dürfte daher nach dem, was im erwähnten Art. *Kraft* mitgetheilt ist, auf jeden Fall vortheilhafter seyn, bei den Zugrammen auf 1 Centn. 4 Arbeiter zu rechnen, weil dann bei einem Werthe von k = 28,5 ℔ nicht bloſs eine längere Arbeitsdauer erhalten wird, sondern auch der Rammbär durch das stärkere Aufschnellen eine gröſsere Höhe erreicht. Muſs ein Rammknecht aufgesetzt werden, so ergiebt die Theorie, daſs dieser allezeit nachtheilig wirkt, und dieser Nachtheil wird ein Minimum, wenn sein Gewicht die mittlere geometrische Proportionalgröſse zwischen dem Gewichte des Pfahls und des Bären ausmacht. Eben dieses findet statt, wenn die Länge des ersten Pfahls nicht hinreicht und daher auch ein zweiter aufgesetzt werden muſs, wobei noch ein anderer Nachtheil aus dem Aufklammern des zweiten Pfahls erwächst, indem der obere durch seine, wenn auch geringe, Elasticität

1 Nouv. Mém. de l'Acad. de Berl. 1772. p. 33.

nach jedem Schlage etwas zurückschnellt und dadurch den untern aufwärts zieht.

B. Eine zweite Methode besteht darin, einen schweren Körper herabfallen zu lassen, dann zu untersuchen, wie tief er selbst eindringt, oder die Kraft zu messen, welche ein Körper von gegebenem Gewichte beim Falle aus einer bekannten Höhe gegen einen andern von ihm gestoſsenen ausübt. Macht man von Letzterem eine Anwendung auf die Rammklötze, so müſste das Schlagen mit ihnen so lange fortgesetzt werden, bis der Pfahl nicht mehr einsinkt, und die Kraft des Rammklotzes, in Pfunden ausgedrückt, gäbe dann den Widerstand des Pfahls oder die Last, welche er, ohne nachzugeben, zu tragen vermag. Versuche dieser Art sind verschiedentlich angestellt worden, die aber zur Entscheidung der Frage nicht genügen, z. B. von s'Gravesande[1] (welcher Kugeln und Kegel von verschiedenem Gewichte aus ungleichen Höhen in weichen Thon fallen lieſs) und von Lambert[2]; die Versuche von Mariotte und Rondelet erklärt Borgnis[3] selbst für ungenügend. Schätzbar sind dagegen die Versuche von Beaufoy[4] nicht bloſs im Allgemeinen, sondern auch zur Bestimmung der Kraft, mit welcher die Rammbären auf die Köpfe der Pfahle schlagen. Sein Apparat bestand aus einer verticalen Säule mit einem Maſsstabe und einer Vorrichtung, um Kugeln aus verschiedenen Höhen auf einen in Ringen frei schwebenden Cylinder herabfallen zu lassen, welcher mit seinem untern Ende auf einer Spiralfeder ruhte, die durch denselben herabgedrückt und an jedem tiefsten erreichten Puncte zurückgehalten wurde. Die herabfallenden Kugeln drückten also den Cylinder bis zu einer ihrem Gewichte und ihrer Fallhöhe proportionalen Tiefe herab, und nachdem die Feder wieder ausgelöst war, drückten aufgelegte Gewichte sie bis zu gleicher Tiefe wieder herab und gaben auf diese Weise die durch die fallenden Kugeln erzeugte Kraft.

Um die durch diese Versuche erhaltenen Resultate unter ein allgemeines Gesetz zu bringen, muſsten zuerst die Ge-

1 Physices elementa math. Leidae 1748. 4. T. I. p. 235 ff.
2 Beiträge zum Gebrauche d. Math. Berlin 1772. Th. III. S. 456.
3 Théorie de la mécanique usuelle p. 141.
4 Ann. of Philos. 1822. Sept. p. 165.

schwindigkeiten aus den Fallhöhen durch die bekannte Formel $v = 2\sqrt{gs}$ gefunden werden. Heifsen die den verschiedenen Höhen zugehörigen Geschwindigkeiten dann v und v', die Momente der durch die Kugeln erzeugten Kraft q und q', der Exponent der Geschwindigkeiten aber m, so ist

$$q : q' = v^m : v'^m,$$

und da die Bewegungsmomente q und q' durch die aufgelegten Gewichte bekannt waren, die Geschwindigkeiten aber aus den Fallhöhen leicht gefunden wurden, so war

$$m = \frac{\log. q - \log. q'}{\log. v - \log. v'}.$$

Die Versuche gaben für m die Werthe 1,9343; 2,0626 und 1,9817, also im Mittel 1,9929, welches von 2 so wenig abweicht, dafs man unbedenklich das Kraftmoment dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzen kann. Zur Auffindung einer constanten Gröfse ergaben ferner die Versuche im Mittel für 1 ℔ Gewicht der Kugeln und 5,6736 Fufs Geschwindigkeit in 1 Secunde 15,145 ℔ Wirkung. Berechnet man hiernach den Effect der Rammklötze unter der Voraussetzung, dafs der Pfahl durch die Schläge derselben zuletzt nicht mehr bewegt wird, also seine theoretisch bestimmte Tragkraft der Gewalt der auf ihn stattgefundenen Schläge gleich gesetzt werden kann, so können die als Kraft und Last zugleich benutzten Pfunde Troy-Gewicht mit allen andern vertauscht werden, die in englischen Fufs gefundene Geschwindigkeit beträgt aber 5,33 altpariser, wofür zu gröfserer Sicherheit 5,5 angenommen werden mögen, und es ist dann

$$T = 15,145 . \frac{M v^2}{5,5^2}.$$

Hierin kann bequem $4gs = v^2$ substituirt und $g = 15$ par. Fufs angenommen werden, wodurch man sehr nahe

$$T = 30 M s$$

erhält, d. h. die Tragkraft eines eingerammten Pfahls (unter den angenommenen Voraussetzungen) wird gefunden, wenn man das Product der Fallhöhe des Rammbären in par. Fufs genommen in die Masse desselben mit 30 multiplicirt, wobei diese Masse = M und die Tragkraft = T ebensowohl in Pfunden als in Centnern genommen werden kann.

Der auf diese Weise gefundene Werth von T läfst sich

nicht genau mit dem nach der erstern Methode erhaltenen vergleichen, weil in ihr der Factor des Einsinkens und des Pfahlgewichts fehlt, indeſs darf man doch Folgendes als eine ungefähre Bestimmung betrachten. Beträgt das Gewicht des Rammklotzes 15 Centner und die Fallhöhe 5 Fuſs, so giebt die letzte Formel

$$T = 30 \times 15 \times 5 = 2250 \text{ Centner.}$$

Dagegen giebt die erste Formel, wenn der Pfahl während der letzten Hitze von 25 Schlägen nur noch 2 Zoll sinkt, gleichfalls bei 5 Fuſs = 60 Z. Fallhöhe und 12,5 Centn. Gewicht des Pfahls

$$T = \frac{25 \cdot 60 \cdot 15^2 \cdot 12{,}5}{2(15+12{,}5)^2} = 2789{,}2 \text{ Centn.}$$

Behält man die angenommene Tiefe des Einsinkens = $\frac{2}{25}$ Zoll bei und nimmt für die Höhen, die Gewichte der Rammklötze und die der Pfähle andere Werthe, so ergeben sich folgende durch beide Formeln gefundene Resultate.

$$T = 30 \cdot 5 \cdot 5 = 750. \qquad T = \frac{25 \cdot 60 \cdot 5^2 \cdot 6}{2(5+6)^2} = 930$$

$$T = 30 \cdot 5 \cdot 10 = 1500 \qquad T = \frac{25 \cdot 60 \cdot 10^2 \cdot 3}{2(10+3)^2} = 1331{,}3$$

$$T = 30 \cdot 10 \cdot 10 = 3000 \qquad T = \frac{25 \cdot 120 \cdot 10^2 \cdot 8}{2(10+8)^2} = 3703{,}7$$

$$T = 30 \cdot 20 \cdot 15 = 9000 \qquad T = \frac{25 \cdot 240 \cdot 15^2 \cdot 10}{2(15+10)^2} = 10800.$$

Aus dieser Zusammenstellung ergiebt sich, daſs die aus den Versuchen von Beaufoy abgeleitete Formel allezeit geringere Werthe giebt, als die gewöhnlich angewandte, auſser wenn die eingerammten Pfähle im Verhältniſs zum Rammbären nur ein sehr geringes Gewicht haben. Sind die Rammbären und Fallhöhen in beiden Formeln gleich, wie sich dieses von selbst versteht, wird dann das Gewicht des Pfahls dem des Rammbären gleich angenommen, und das Rammen so lange fortgesetzt, bis der Pfahl zuletzt noch $\frac{1}{120}$ Fuſs oder 0,1 Zoll, folglich während der letzten Hitze von 25 Schlägen noch 2,5 Zoll sinkt, so geben beide Formeln gleiche Werthe für T, denn es wird aus

$$30\,s\,P = \frac{120\,s\,P^2\,Q}{(P+Q)^2}; \quad 30\,P = \frac{120\,P^3}{4\,P^2}.$$

Für sonstige Tiefen des Sinkens giebt es kein rationales Verhältnifs zwischen dem Gewichte des Pfahls und Rammklotzes, wofür die beiden Formeln für T gleiche Werthe geben. Auf jeden Fall kann angenommen werden, dafs mindestens bei wichtigen Bauten das Gewicht des Pfahls nur selten unter der Hälfte des Gewichts des Rammklotzes betragen wird, und man darf sich daher der angegebenen bequemen Formel, wonach $T = 30 s . P$ ist, in der Praxis dreist bedienen, wobei es dann nach oben angegebenen Gründen hinreichende Sicherheit gewähren würde, wenn man die wirkliche Belastung der Hälfte der theoretisch gefundenen gleich annimmt.

M.

Reagentien.

Reagentia; Reactifs; *Reagents, Tests.*

Im weitern Sinne alle diejenigen unwägbaren und wägbaren Materien, welche in Berührung mit andern Materien irgend eine durch die Sinne wahrnehmbare Veränderung zuwege bringen, aus welcher sich auf die chemische Natur der letztern schliefsen läfst; im engern Sinne diejenigen unter ihnen, welche *besonders auffallende* Veränderungen bewirken und deshalb in der analytischen Chemie zur Erkennung der chemischen Natur einfacher und zusammengesetzter Materien *vorzugsweise angewandt* werden.

G.

Reduction

(der Metalle), Wiederherstellung; *Reductio;* Reduction; *Reduction.*

Zurückführung eines Metalls aus seiner Verbindung mit Sauerstoff in den metallischen Zustand, welche theils schon beim Erhitzen der Metalloxyde für sich erfolgt, wenn dieselben den Sauerstoff loser gebunden enthalten, theils beim Zusammenbringen derselben mit Kohle oder andern brennbaren Stoffen, welche den Sauerstoff zu entziehn vermögen.

G.

Regen.

Pluvia; Pluie; *Rain.*

Mit dem Worte *Regen* bezeichnet man allgemein das Herabfallen von Wassertropfen aus der Atmosphäre auf die Erdoberfläche, oder eigentlicher diese Tropfen selbst, so lange sie im Zustande des Fallens sind, benennt den Act des Herabfallens mit dem Zeitworte *Regnen* und das auf diese Weise angesammelte Wasser mit dem Namen *Regenwasser*. Die beiden ersten Worte werden auch figürlich von vielen Sachen gebraucht, die in großer Fülle, aber einzeln und in Zwischenräumen folgend, vorkommen. Für den vorliegenden Zweck ist es unnöthig, auf die letztere Bedeutung Rücksicht zu nehmen, da allgemein bekannt ist, was man unter Regen schlechtweg zu verstehn habe.

A. Ursprung des Regens.

Der Regen gehört zu den Hydrometeoren oder den Erscheinungen des Herabfallens solcher Substanzen aus der Atmosphäre, die dem Wesen nach aus Wasser bestehn und deren Ursprung in der Hauptsache gegenwärtig keinem Zweifel mehr unterliegt, früher aber Gegenstand lebhafter Streitigkeiten war[1]. Durch die genauere Kenntniſs des Wasserdampfs und Wasserdunstes[2] ist man nämlich zu der Ueberzeugung gelangt, daſs die Atmosphäre sehr allgemein einen ihrer Temperatur proportionalen Antheil von Wasser als Dampf oder, bei einem höhern Grade von Sättigung, als Dunst in der Gestalt von Wolken oder Nebel enthält, wobei zwar die Dichtigkeit oder der eigentliche Gehalt an tropfbar-flüssig darstellbarem Wasser durch anderweitige Bedingungen auf ein sehr geringes Minimum herabsinken kann, meistens aber groſs genug ist, um die Entstehung der sämmtlichen Hydrometeore genügend daraus zu erklären. Im Allgemeinen war man übrigens schon selbst in den ältesten Zeiten der Meinung, daſs

1 Vergl. Dove in Poggendorff Ann. XIII. 305.

2 Beide sind bereits im zweiten Bande dieses Werks ausführlich untersucht worden; auſserdem verweise ich auf den Art. *Atmosphäre* Bd. I. S. 465. und *Meteorologie*, Bd. VI.

der Regen aus dem durch Verdunstung aufgestiegenen Wasser entstehe, indem die emporgehobenen und wegen ihrer Feinheit unsichtbaren Partikeln desselben vereint hierdurch zu schwer würden und demnach herabfallen müfsten. Als Ursachen dieser Verdichtung betrachtete man Abkühlung, Luftverdünnung, Windstöfse, wodurch die Wolken gegen die Berge gedrückt würden, und andere, deren eigentliches Wesen und Wirkungsart man nach damaliger Weise nicht näher untersuchte. Nachdem die elektrischen Erscheinungen die Aufmerksamkeit mehr zu erregen angefangen hatten, rechnete man, namentlich seit Beccaria[1], auch die Elektricität unter die bedingenden Ursachen der Hydrometeore, Musschenbroek[2] weicht jedoch von dieser Ansicht insofern ab, als er der Elektricität hauptsächlich nur einen Einflufs auf die Verdunstung beilegt, den Regen aber vorzugsweise durch den Wind bedingt werden läfst. Nicht bedeutende Aufmerksamkeit erregte die Modification, welche Hamberger und hauptsächlich le Roy[3] dieser Ansicht durch die Hypothese gaben, dafs das Wasser in der Luft aufgelöst sey, denn es wurde zugleich die Auflösungsfähigkeit der Luft ihrer Wärme proportional gesetzt, und so mufsten durch Abkühlung auch nach dieser Theorie Niederschläge entstehn.

In der neuern Zeit hat insbesondere de Saussure[4] der Theorie des Regens grofse Aufmerksamkeit gewidmet. Dem Wesen nach betrachtet er den Wasserdampf als eine Verbindung des Wassers mit Wärme, nimmt dann aber an, dieser Dampf werde in der Luft aufgelöst und durch Uebersättigung der letztern sogleich in sichtbaren Dunst verwandelt. Weil aber das Hygrometer einen hohen Grad der Feuchtigkeit anzeigen mufs, wenn wässerige Niederschläge in der Luft entstehn sollen, diese letztern aber oft plötzlich oder langsam wieder verschwinden, so schien ihm zur Erklärung dieser Phänomene eine andere bedingende Ursache nothwendig, die er in der Elektricität zu finden glaubte. Als ein Gegner dieser Theorie und der noch weit einfachern von Hutton trat de Luc auf, allein es scheint mir überflüssig, auch nur den

---

1 Lettere dell' Elettricismo. Bologna 1754.

2 Introduct. T. II. §. 2363.

3 Mém. de l'Acad. 1751. p. 481.

4 Essays sur l'Hygrometrie. A Neufchatel 1783. 8.

Hauptinhalt der vielen hierdurch veranlaſsten Abhandlungen und Streitschriften anzugeben, die in wissenschaftlicher Hinsicht jetzt ganz ohne Werth sind und nur in Beziehung auf die Geschichte eine kurze Erwähnung verdienen, um das Andenken an diejenige Periode zu erhalten, wo sie so ungemeines Aufsehn erregten.

De Lüc[1] fand nebst andern Physikern ein vorzügliches Argument gegen die aufgestellte Ansicht in der auſserordentlichen Menge des Regenwassers, welche oft nach vorausgegangener Heiterkeit plötzlich herabstürzt und wozu nach de Saussure's eigenen Bestimmungen die selbst in gesättigter Luft vorhandene Quantität Dampf nicht ausreiche; diesemnach könne also eine bloſse Verminderung der Temperatur nach Hutton's Ansicht höchstens eine leichte Trübung, aber keinen Regen erzeugen. Insbesondere erklärte sich de Lüc sehr nachdrücklich gegen die Hypothese einer Auflösung des Wasserdampfs in der Luft, und stellte dagegen eine andere auf, wonach das Wasser bei der Verdampfung in eine eigenthümliche Gasart verwandelt werden, in diesem Zustande nicht hygroskopisch wahrnehmbar seyn, durch eine abermalige Umwandelung aber als Regen wieder zum Vorschein kommen sollte. Ohne ein Anhänger der damals aufkommenden antiphlogistischen Chemie zu seyn, diente ihm dennoch die Darstellung des Wassers aus Gasarten zur Unterstützung seiner Ansicht. Was übrigens zum Wasser hinzukommen müsse, um dasselbe in Gas zu verwandeln, hat de Lüc zwar nicht ausdrücklich angegeben, indeſs folgt aus seiner Theorie vom Wesen der Elektricität[2], daſs es wohl nichts anderes als diese letztere seyn könne, worüber sich sein eifrigster Anhänger, Lampadius[3], noch deutlicher geäuſsert hat. Der stärkste Ausdruck des Streits erfolgte, als Zylius[4] in seiner Preisschrift zur Beantwortung der von der Berliner Akademie auf-

---

1 Neue Ideen über Meteorologie. Berlin und Stettin 1788. II Th. 8. Journ. de Phys. T. III. p. 287.

2 Vergl. *Elektricität.* Bd. III. S. 355.

3 Kurze Darstellung der vorzüglichsten Theorieen des Feuers. Gött. 1793. S. 86 ff. Versuche und Beobachtungen über die El. u. Wärme der Atmosphäre. Berlin u. Stettin 1793.

4 Versuch einer Theorie des Regens, Berlin 1795. 8. Vergl. G. IV. 309.

gegebenen Frage die Auflösungstheorie abermals in Schutz nahm und G. C. Lichtenberg[1] in einer eigenen Gegenschrift nicht blofs diese Ansicht widerlegte, sondern auch die Hypothese des von ihm übermäfsig geschätzten de Lüc zu vertheidigen suchte, dabei aber sich durch zu lebhaftes Interesse für die Sache und die Person zum Ueberschreiten derjenigen Grenzen verleiten liefs, welche die Gesetze der ruhigen und unparteiischen Forschung den Beförderern der Wissenschaften beim Kampfe über Meinungen vorgezeichnet haben. Zylius[2] vertheidigte sich hiergegen mit so vieler Mäfsigkeit, als die Heftigkeit des Angriffs zuliefs, die Aufgabe wurde fortwährend enger mit dem antiphlogistischen Systeme der Chemie verflochten, als dessen Gegner de Lüc auftrat, und dadurch in verschiedene Streitigkeiten, namentlich mit J. T. Mayer[3], Zylius[4] und andern gerieth[5], bis dieser einzelne Zweig wegen der Wichtigkeit der ganzen Theorie Lavoisier's die Aufmerksamkeit der Physiker nur im geringen Grade in Anspruch nahm, indem man sich begnügte, den Regen als einen Niederschlag des in der Atmosphäre befindlichen Dampfs zu betrachten.

Der erste, welcher die jetzt gangbare Theorie vom Regen aufstellte und durch scharfsinnige Inductionen zu beweisen suchte, war Dr. James Hutton[6], welcher den Satz aufstellte, dafs die Dichtigkeit des Wasserdampfs stärker als den Wärmevermehrungen proportional wachse, weswegen durch Mischungen wärmerer und kälterer Luftmassen selbst dann Niederschläge entstehn müfsten, wenn beide nicht vollständig mit Wasserdampf gesättigt seyen. Hieraus folgerte er den Niederschlag beim Athmen der Menschen und Thiere, des-

---

1 G. C. Lichtenberg's Vertheidigung des Hygrometers und der de Lüc'schen Theorie vom Regen. Gött. 1800.

2 G. V. 257. VIII. 342.

3 Gren's Journ. d. Phys. T. V. p. 371. Vergl. G. II. 121.

4 Gren's Journ. T. VI. p. 195. VIII. p. 51.

5 Auch Parrot's ältere Meinungen über diese Phänomene sind für die Geschichte dieser Streitigkeiten von Wichtigkeit. G. X. 166.

6 Transactions of the Roy. Soc. of Edinburgh. Edinb. and Lond. 1788. T. I. p. 41. Daraus in Gren's Journ. d. Phys. T. IV. p. 413. Unter den Engländern ist diesem hauptsächlich Dalton beigetreten und hat dessen Theorie zu der seinigen gemacht. S. Manchester Mem. T. V. Vergl. Ann. of Phil. XV. p. 258.

gleichen die durch MAUPERTUIS in Lappland gemachte Beobachtung, dafs die in warme Zimmer dringende kalte Luft sogleich feinen Schnee erzeugte. Vermöge unserer gegenwärtigen genauern Kenntnifs vom Wesen der Dampfbildung wird die Richtigkeit dieser Behauptung nicht blofs von selbst klar, sondern das Ganze läfst sich auch auf bestimmte Zahlengröfsen zurückführen, aus denen dann noch aufserdem hervorgeht, dafs der Wassergehalt der Atmosphäre hinreicht, um in Folge einer erfahrungsmäfsigen Abkühlung die stärksten Regengüsse zu erzeugen. Die Bestimmungen der Dichtigkeiten des Wasserdampfes sind zwar nicht mit absoluter Uebereinstimmung festgesetzt, weichen aber insbesondere für die mittlern Thermometergrade so unbedeutend von einander ab, dafs daraus keine merklichen Unterschiede hervorgehn können, und ich wähle daher unbedenklich die in diesem Werke bereits mitgetheilten[1]. Würden also gleiche Mengen Luft, die eine von 20° R., die andere von 10° R. Wärme, beide mit Wasserdampf gesättigt, vereint, so wäre ihre mittlere Temperatur 15° R. Nach der angezeigten Tabelle aber betragen die Dichtigkeiten des Wasserdampfs für die erstere Temperatur 0,017167, für die zweite 0,007614, mithin das arithmetische Mittel 0,012391, und da der Temperatur von 15° R. nur 0,011584 zugehört, so müfste Wasserdampf von der Dichtigkeit = 0,000807 frei werden, d. h. es mufs ein Dunst, ein Nebel oder ein wässeriger Niederschlag entstehn. Dafs die Abkühlung wärmerer Luftmassen sofort einen Niederschlag erzeugen könne, geht aus den Mittheilungen von SCORESBY[2] hervor, welcher oft beobachtete, dafs bei südlichen Luftströmungen an der Grenze des ausgedehnten Polareises sogleich Schneeflocken herabfielen, weswegen Wolken in jenen Gegenden selten sind. Es folgt hieraus ferner unmittelbar, dafs die Niederschläge um so viel reicher seyn müssen, je höher die Temperatur vor der Abkühlung ist; denn wollte man die so eben mitgetheilte Berechnung für die Temperaturen von 30° und 20° R. anstellen, so geben die diesen zugehörigen Dichtigkeiten, nämlich 0,035171 und 0,017167, als arithmetisches Mittel 0,026169, und da der erzeugten mittlern Temperatur von 25° eine Dichtigkeit des Dampfs von

1 S. *Dampf* Bd. II. S. 371.

2 Mem. of the Werner. Soc. P. II. Vol. II. p. 319.

0,024841 zugehört, so ergiebt sich ein Ueberschufs = 0,001328. Die Menge des Regenwassers mufs daher in heifsern Gegenden und in den wärmern Jahreszeiten gröfser seyn, worauf sich viele der demnächst zu erwähnenden Thatsachen beziehn.

Auf gleiche Weise läfst sich leicht darthun, dafs die Menge des in der Atmosphäre schwebenden Dampfs und die nach Beobachtungen nicht übertriebenen Abkühlungen vollkommen hinreichen, um die anscheinend übergrofsen Quantitäten des herabfallenden Regenwassers genügend zu erklären. Will man dieses durch eine Berechnung ausmitteln, so stehn hierfür zwar nur genähert richtige Bestimmungen zu Gebote, deren Fehler sich jedoch so ziemlich ausgleichen, so dafs sich im Ganzen das Resultat nicht weit von der Wahrheit entfernt. Wenn wir also annehmen, dafs die der zunehmenden Höhe proportionale Wärmeabnahme 1° R. für 100 Toisen beträgt[1] und die Bildung der Wolken, also auch der Niederschläge, bis zur einer Höhe von 1500 Toisen erfolgt, den Sättigungszustand dieser Luftschichten mit Wasserdampf vorausgesetzt, so läfst sich aus der eben erwähnten Tabelle leicht die Menge des in diesem Raume enthaltenen Wassers und des durch eine bestimmte Abkühlung ausgeschiedenen auffinden. Bleibt dann das an heifsen Tagen stattfindende sehr bedeutende Aufsteigen der warmen, mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten unberücksichtigt, nimmt man dagegen eine 15° R. betragende Temperaturverminderung von der Erdoberfläche bis zu der bezeichneten Grenze an und setzt man die Wärme der untersten Schicht zu 26° R. fest, so lassen sich aus der zweiten Columne der erwähnten Tabelle die Dichtigkeiten des Wasserdampfs gegen Wasser, welche den einzelnen Schichten zugehören, entnehmen und hieraus folgt dann die mittlere Dichtigkeit = 0,0000215. Bei starken Regen, namentlich Gewittern und Hagelwettern, findet zuweilen eine Abkühlung bis 5° R. statt, jedoch will ich nur eine bis 10° annehmen und es bebeträgt dann die mittlere Feuchtigkeit der gesammten Luftschichten noch 0,00000567, mithin beträgt der als Niederschlag ausgeschiedene Antheil 0,00001582, welches mit der angenommenen Höhe von 1500 Toisen multiplicirt 0,14238 Fufs oder

1 Vergl. *Erde*. Bd. III. S. 1019.

Wolken nur beschränkte Districte treffen, in *Landregen*, die anhaltendsten und über weite Strecken verbreiteten, *Schlagregen* oder kurzdauernde, aber heftige Regenschauer, *Platzregen* von den geringern Gewitterschauern bis zu den verheerenden Wolkenbrüchen, und *Dunstregen* genügen, mit welchem letztern Namen man die vorher beschriebenen einzelnen, bei heiterem Himmel fallenden, Tropfen bezeichnen könnte. Der *glätteisende* Regen bildet keine eigne Classe, sondern ist blofs ein feiner Regen, welcher aus den höhern Regionen herabfällt, wenn die Erde noch gefroren ist und durch ihre Kälte die auffallenden Tropfen sofort in Eis verwandelt; er gilt daher mit Recht für einen sichern Vorboten beginnenden Thauwetters.

B. Substanzen, welche im Regen herabfallen.

Im Allgemeinen nimmt man an, dafs blofs Wassertropfen im Regen herabfallen; inzwischen ist schon oben bemerkt worden, dafs man diesen Ausdruck bildlich auch von anderen, auf ähnliche Weise herabfallenden Substanzen gebraucht, und in dieser Beziehung liefert die Erfahrung einige zwar abentheuerlich klingende, dennoch aber wohl begründete und keineswegs unerklärbare Thatsachen.

Das Regenwasser ist eigentlich reines Wasser, und mufs dieses seyn, weil die Bildung des aufsteigenden Dampfs ein eigentlicher Destillationsprocefs im Ganzen genannt werden kann. Aber auch bei der künstlichen Destillation werden geringe Antheile heterogener Substanzen mit fortgerissen, und während in Folge der allgemein auf der Oberfläche der Erde und des Wassers stattfindenden Verdunstung der Wasserdampf aufsteigt, bei seiner Anwesenheit in der atmosphärischen Luft über die weitesten Strecken fortgeführt wird, hauptsächlich aber wenn er, in tropfbar flüssiges Wasser verwandelt, wieder zur Erde herabsinkt, müssen sich nothwendig verschiedene Bestandtheile mit ihm verbinden, welche in Folge des thierischen und vegetabilischen Lebensprocesses, der zahlreichen Zersetzungen und der mannigfaltigen technischen Processe sich gleichfalls von der Erdoberfläche aus in die Regionen der Atmosphäre erheben, oder durch heftige Bewegungen der Luft me-

chanisch in die Höhe gehoben werden. Hiernach ist begreiflich, daſs die nach anhaltender Dürre zuerst herabfallenden Regentropfen am stärksten verunreinigt sind, demnächst aber fortdauernd reiner werden. Die Menge der heterogenen, mit dem Regenwasser sich mischenden Substanzen in der Atmosphäre ist jedoch verhältniſsmäſsig nur gering, und man darf hiernach das mit Vorsicht aufgefangene Regenwasser als rein betrachten, findet dieses auch wirklich, wenn man das nach anhaltender Dürre zuerst herabfallende ausschlieſst, und kann dasselbe daher füglich statt des destillirten Wassers mit groſser Sicherheit in Anwendung bringen. Es war demnach ein falsches Vorurtheil, wenn man in frühern Zeiten den wohlthätigen Einfluſs des Regens auf die Vegetation in Vergleichung mit künstlichem Begieſsen von beigemischten Salzen und später von einem gröſsern Antheile Sauerstoffgas ableitete, indem erstere, in gröſserer Quantität vorhanden, vielmehr nachtheilig wirken, die Menge des letztern aber verhältniſsmäſsig geringer ist, weil es sich mit dem Dampfe als solchem nicht verbindet, das niedergeschlagene Wasser aber zu kurze Zeit damit in Berührung ist, als daſs es eine bedeutende Quantität davon absorbiren könnte. Jene wohlthätigen Wirkungen beruhn vielmehr auf der gröſsern Menge des Wassers, welches selbst schwächere Regen liefern, auf seinem allgemeinern und bessern Eindringen in die gesammten Poren der Pflanzen, auf dem Einsaugen der Feuchtigkeit aus der gleichzeitig mit Wasserdampf gesättigten Luft und auf der in der Regel eintretenden Abkühlung und Beschattung durch Wolken, die den schädlichen Einfluſs zu greller Sonnenhitze mildern[1].

Der gröſste Theil des in der Atmosphäre befindlichen Wasserdampfs ist vom Meere aufgestiegen, und auſserdem erheben nicht selten heftige Sturmwinde einen nicht unbeträchtlichen Theil des Salzwassers vom Oceane, so daſs hiernach die Anwesenheit des Kochsalzes im Regen vermuthet werden kann. Inzwischen zeigen sich Spuren einer etwas gröſsern fortgerissenen Menge nur an den Küsten und in einiger Entfernung von diesen. So fand Dalton[2] in dem Re-

1 Naturkund. Verhandl. van de Hollands. Maatschappii de Wetensk. te Haarlem. T. VIII. p. 1.

2 Manchester Mem. New Ser. T. IV. p. 330 u. 370.

genwasser vom 5. Dec. 1822 zu Manchester 1 Th. Salz in 10000 Theilen Wasser, und da das Seewasser 1 Th. in 25 enthält, so mufste hiernach 1 Theil Seewasser in 400 Theilen Regenwasser enthalten seyn. Der den Regen begleitende Sturm kam von SW. nach W., der S.W.-Wind kommt dorthin von Wales, welches 100 engl. Meilen entfernt ist, der W. Wind von dem nur 30 bis 40 engl. Meilen entfernten Liverpool, und einer von beiden mufste also den Antheil Seewasser auf diese Entfernung mit fortgerissen haben. Bei einem spätern Sturme fand derselbe 1 Theil Salzwasser in 200 Theilen Regenwasser, Salisbury[1] aber beobachtete, dafs der Regen am 14. Jan. 1808 zu Mill-Hill an der Ostküste Englands kleine Salzkrystalle an den getroffenen Fensterscheiben zurückliefs, auch fand er in der Umgegend solche an Blättern und kleinen Zweigen, weswegen er das öftere Verdorren derselben an jenen Orten aus dieser Ursache ableitet.

Nach Lampadius[2] enthält das in gröfserer Entfernung vom Meere, namentlich im mittlern Deutschland, aufgefangene Regenwasser nur selten, und meistens blofs nach anhaltender Dürre, etwas Salpetersäure und salzsauren Kalk, spätere Untersuchungen[3] überzeugten ihn jedoch, dafs sich fast ohne Ausnahme etwas Salzsäure, meistens an Kalk gebunden, im Regen- und Schneewasser findet. Am meisten hat sich Zimmermann[4] mit der Untersuchung des Regenwassers beschäftigt, und allezeit salzsaure Salze, mitunter in leicht wahrnehmbarer Menge, nicht selten animalische und vegetabilische Bestandtheile, zuweilen noch sonstige verschiedene mineralische Stoffe darin gefunden, die er in einigen Fällen für kosmischen Ursprungs hält, deren Vorhandenseyn aber nur durch einen besonderen Zufall bewirkt seyn konnte. Ueberkohlensauren Kalk behauptet auch Stark[5] gefunden zu haben, Liebig[6] aber untersuchte 77 Proben Regenwasser, und fand in 17 nach Gewittern aufgefangenen etwas Salpetersäure an Kalk oder Ammoniak gebunden, von den übrigen 60 zeigten nur zwei

1 Gehlen's Journ. T. VII. p. 589.
2 Atmosphärologie S. 23.
3 G. LVIII. 440. LX. 106.
4 Kastner's Archiv. T. I. S. 257 u. a. a. O.
5 Ann. of Phil. T. III. p. 140.
6 Geiger Magaz. für Pharmazie. 1828. Jan. S. 37.

schwache Spuren davon, Kalksalze und einen geringen Theil Salpetersäure haben übrigens schon Marggraf[1] und T. Bergmann[2] im gewöhnlichen Regenwasser angetroffen. Endlich führen auch die ausführlichen Untersuchungen von R. Brandes[3], welcher auch von frühern Bemühungen zur Entscheidung dieser Aufgabe Nachricht mittheilt, zu dem Resultate, dafs sehr häufig einige mineralische Substanzen, namentlich salzsaure Salze, zu den in geringer Menge vorhandenen Bestandtheilen des Regenwassers gehören.

Das Regnen der verschiedensten Substanzen wird häufig von den römischen Schriftstellern erwähnt und galt damals, wie auch später, für ein Wunder. In den neuern Zeiten war man geneigt, die Erzählungen solcher Ereignisse für fabelhaft zu halten, auch fand sich, dafs das Regnen der Mäuse nach Wormius[4], der Frösche und des Bluts auf Irrthümern beruhe. Nach Linné hat nämlich eine gewisse Gattung Mäuse (*mus montanus*) in Norwegen die seltsame Gewohnheit, zuweilen in grofser Menge auszuwandern, wobei sie bedeutende Verheerungen anrichten, zugleich aber ihrem Instincte so rücksichtslos folgen, dafs sie zahllos in Gräben und Vertiefungen fallen und dort den verfolgenden Bären zur Beute werden. Eine ähnliche Bewandtnifs hat es mit den Raupen, die zuweilen gleichfalls geregnet zu seyn scheinen, Frösche und sonstige Feuchtigkeit liebende Thiere pflegen aber nach einem Regen, insbesondre wenn er auf anhaltende Dürre folgt, aus ihren Schlupfwinkeln in Menge hervorzukommen.

Durch unzweifelhafte Zeugnisse sind jedoch viele Fälle des Regnens verschiedener Substanzen aus dem Pflanzen-, Thier- und Steinreiche genügend begründet, die entweder für sich, oder noch häufiger mit Regen oder Schnee vermengt, vom Himmel fielen, jederzeit aber aus dem natürlichen Grunde, weil sie, durch heftige Luftströmungen in die Höhe gehoben, eine bedeutende Strecke fortgeführt worden waren und beim Aufhören des Sturms wieder herabfielen. Unter die Ereignisse des

1 Chymische Schriften. Th. I. N. XVIII. §. 7.

2 De analysi aquarum. §. 4.

3 Schweigger's Journ. N. R. XVIII. 153.

4 Historia animalis, quod in Norvegia e nubibus decidit. Hafn. 1653. Schwed. Abh. II. 75.

Thiere-Regnens[1] gehört eine mir von glaubhaften Zeugen mitgetheilte Erzählung, daſs einst in der Mitte des vorigen Jahrhunderts bei einem Regen mit Sturm eine beträchtliche Menge Fische auf den Schloſshof zu Hannover herabfielen, und zwar von solcher Gröſse, daſs sie gegessen wurden. Zweifelhafter dürften die Nachrichten seyn, welche Quatremère[2] aus alten orientalischen Schriftstellern gesammelt hat, nämlich daſs nach Macrizy im Jahre 716 der Hedschra bei Balbek Fische herabfielen, welche gebraten wurden, und zu Sarmin eine Menge dicker Frösche, im Jahre 753 in Abyssinien und 775 zu Schizer in Syrien Schlangen, im Jahre 833 endlich zu Hemes in Syrien eine die Dächer und Häuser bedeckende Menge grüner Frösche. Auch nach Phanias fielen in Paeonien und Dardanien eine groſse Menge Frösche, im Chersones drei Tage nach einander Fische herab, Athenaeus erwähnt das Regnen der Fische als eine öfters wahrgenommene Erscheinung, und Eustathius erzählt, daſs einst am Fuſse des Bergs Marcu eine Menge Ratzen in die Höhe gehoben und gegen die Mauern der Stadt geschleudert wurden. Nicht zweifelhaft ist dagegen das nicht selten beobachtete Herabfallen der Heringe zugleich mit salzhaltigem Wasser, und zwar an der Küste der See[3]. Ein solches Ereigniſs meldet Colin Smith, welches 1796 zu Lorn, 1821 zu Melford-House und 1817 zu Apin, alle drei in der Nähe von Edinburg, die Aufmerksamkeit der Bewohner erregte; beim letztern Falle betrug die Menge viele tausende von 1,5 bis 3 Zoll Länge. Auch Forbes Mackenzie wurde nicht wenig überrascht, als er bei einem Spaziergange zu Fodderty in Roſs-shire in Schottland, ungefähr drei englische Meilen vom Meere, eine groſse Strecke Landes mit 3 bis 4 Zoll langen Heringen bedeckt fand, die nicht anders als durch den Sturmwind von der See hergetrieben seyn konnten. Aeltere Heringsregen erzählt Andrew Symson[4] von einem Orte in Galloway, 30 engl. Meilen von der See, und Arnot von Loch Leven. Auch Muscheln fielen einst zu Mo-

1 Aeltere Angaben dieser Art, namentlich, daſs es nach Avicenna sogar einmal Kälber geregnet habe, übergehe ich als bloſse Fabeln.

2 Mémoires géogr. et histor. sur l'Egypte cet. Par. 1811. Daraus in G. L. 295.

3 Edinb. Phil. Journ. N. Ser. N. I. p. 186.

4 Large description of Galloway. 1684.

nastereen in der Grafschaft Kildare herab[1], kleine Fische mit salzigem Wasser am 1sten Juli 1822 im Hofe des Potocki'schen Pallasts zu Petersburg[2], im Jahre 1806 eine grofse Menge Krabben in Oldenburg[3], andrer ähnlicher Ereignisse dieser Art nicht zu gedenken, die überhaupt oder mindestens mir nicht bekannt geworden sind.

Am leichtesten werden Insecten und Raupen durch Sturmwinde fortgeführt, ihre Menge ist, wie die der Heuschrecken, oft ungeheuer grofs, und daher verdienen die Nachrichten von ihrem Herabfallen am leichtesten Glauben. So erzählt Moller[4]: „Anno 1672 den 20sten Novbr. ereignete sich bei „Neusohl in Ungarn, wie auch um Eperies, ein sehr heftiges „Schneewetter, da dann unter demselben eine unzählige Menge „abscheulicher gelber und schwarzer, mit ziemlicher Gröfse „begabter Würmer continuirlich aus der Luft auf die Erde ge„fallen, dafs das weit und breit herumliegende Land zum Er„schrecken und Erstaunen der Einwohner damit bedeckt wor„den. Sie haben gegen drei Tage continuirlich gelebt, sind „hin und wieder häufig gekrochen, haben einander feindlich „angefallen, also dafs endlich die, um ein Merkliches grö„fsern, gelben den kürzern gezogen, von den schwarzen über„wältigt, zerbissen und gar aufgefressen worden." Eine von ihm hinzugefügte nähere Beschreibung der verschiednen Thierchen übergehe ich. Auch zu Hartau und Spachendorf in der Gegend des Raudenberges im österreichischen Schlesien ereigneten sich am 10ten Jan. 1818, am 22sten Dec. 1819 und am 30sten Jan. 1820 solche Insecten-Regen. Am letztern Tage fielen sie in gröfster Menge um 2 Uhr Nachmittags bei anfangendem Thauwetter und $1^0,5$ R. Temperatur zugleich mit dem Schnee herab. Man unterschied vier Gattungen, die eine von der Gröfse der rothen Ameisen, aber etwas dicker, die zweite eben so grofs, aber schwarz, die dritte wie ein Floh und die vierte kaum halb so grofs. Sie fielen lebend herab und blieben eine geraume Zeit lebendig, erregten ein Jucken auf der

1 Edinb. Phil. Journ. a. a. O.

2 Frankf. Ob. P. Zeitung 1822. N. 204.

3 v. Türk Erscheinungen der Natur. 1818. S. 49.

4 Dan. Guilielm. Molleri meditatio de insectis quibusdam hungaricis prodigiosis, anno proxime praeterito ex aëre una cum nive in agros delapsis. Francof. 1673.

Haut und sträubten sich gegen das Einsperren in ein Glas[1]. Auf gleiche Weise sicher bewährt ist die Nachricht von dem Insectenregen, welcher sich am 17. Oct. 1827 zu Pokroff im Gouvernement Twer ereignete[2]. Auch dort fielen die Thiere in unermeſslicher Menge mit dem Schnee herab, waren schwarz und häſslich, mit Antennen und sechs Füſsen, vermittelst deren sie sich sehr kräftig auf dem Schnee bewegten. Sie ertrugen sehr die Kälte, denn sie starben nicht alle, selbst als die Temperatur bis — 8° herabging, schienen aber die Wärme in Zimmern nicht aushalten zu können. Aehnliche Erscheinungen sind der Raupenregen am 23. Dec. 1815 bei Valorbe, so reichlich, daſs ein Viertel Juchert Landes mit den Thieren bedeckt war[3], desgleichen zu St. Hermine in Fontenay, wo die Einwohner genöthigt waren, Feuer vor den Häusern anzuzünden, um sich des Andranges zu erwehren[4].

Nicht selten wird bei den ältern Schriftstellern ein Blutregen erwähnt, nach neuern Untersuchungen aber sind die herabfallenden rothen Substanzen thierischen oder mineralischen Ursprungs. Homer[5], Cicero[6], Livius[7], Plinius[8] berichten dieses Phänomen, auch Gemma Frisius[9], dagegen entdeckte schon Peiresc[10], daſs die vermeintlichen Blutstropfen von Insecten herrührten, weil er sie an Orten fand, die gegen herabfallende Tropfen geschützt waren. Indeſs will Hildebrand[11] solche rothe Insecten 1711 im Regen gefunden haben, und Bergmann[12] erzählt, daſs 1764 zu Cleve, Utrecht und an andern Orten ein rother Liquor zugleich mit den Regentropfen herabgefallen sey. Eine sehr vollständige Zusammenstellung und Prüfung der vielen ältern

---

1 Hesperus oder encyclopädische Zeitung. Th. XXVII. S. 130.
2 Journal de St. Petersbourg. Nr. 141. Nov. 1827.
3 Lausanner Zeitung. 1815.
4 Berliner Zeit. 1804. St. 43.
5 Ilias. Rhaps. R.
6 De Divinatione. L. II.
7 A. v. O. unter andern. L. XLII. c. 20.
8 Hist. nat. L. II. c. 56.
9 Cosmographia. L. II. c. 2.
10 Gassendi Vita Peirescii. L. II.
11 Acta liter. Sueciae An. 1731. p. 28.
12 Physical. Beschreib. d. Erdkugel. §. 115.

und neuern Erzählungen von Blutregen hat neuerdings Ehrenberg[1] geliefert, welcher der Meinung ist, dafs die rothe Färbung des Wassers, selbst desjenigen, welches Zimmermann am 3. Mai 1821 zu Giefsen im Regenmesser erhielt, von Vegetabilien oder Thieren herrührt.

Früchte kommen zuweilen nicht sowohl in Begleitung des Regens, als vielmehr selbst gleichsam einen Regen bildend vom Himmel herab, obgleich Musschenbroek[2] die Thatsache bezweifelt und einige Nachrichten dieser Art durch umhergestreuten Taxussamen oder Wespenlarven, andere aus den durch Regen entblöfsten Knollen von *Ranunculus ficaria* oder *Chelidonium minus* veranlafst glaubt. Eine ältere Nachricht[3] erwähnt das Herabfallen knollenartiger Gewächse in Kurland im Jahre 1686, ähnliche Früchte fielen am 19. und 20. Juni 1823 auf der Herrschaft Starkenbach in Böhmen während eines Gewitterregens herab, wurden für Knollen der *Ranunculus ficaria* gehalten und in Menge gegessen[4]. Für solche hielt man auch die in Schlesien und Böhmen wiederholt geregneten Vegetabilien, die Knollengewächse aber, welche im Sommer 1822 unweit Marienwerder und später bei Brieg herabfielen, wurden anfangs für den Samen von *Galium spurium* gehalten, nach entdeckten Unterschieden aber blieben sie unbestimmt[5], jedoch erklärte Treviranus[6] sie später für die Samenkörner von *Veronica hederaefol.*, die auf den dortigen Feldern häufig wachsen und öfter vom Himmel herabgefallen zu seyn schienen. Am 27. Juli 1802 ereignete sich ein Regen von Früchten zu Leon, in denen v. Jacquin die im Oesterreichischen auf gleiche Weise vorkommenden Knollen der *Ranunculus fic.* zu erkennen glaubte[7], Ventenat aber hielt sie für

---

1 Edinb. New Phil. Journ. N. XIX. 122. XX. 341.

2 Introd. T. II. §. 2358.

3 Kanold's curieuse und nutzbare Anmerkungen von Natur- und Kunstgeschichten. Budissin 1726. S. 79. Vergl. Scherer's Nord. Ann. Th. IV. S. 60.

4 Frankfurter O.-P.-Zeit. 1823. N. 219.

5 Hamb. Corresp. 1822. N. 37.

6 Isis 1823. Heft VI. S. 645. Aus L. C. Treviranus über gewisse in Westpreufsen etc. gefallene Samenkörner. Breslau 1823, wo noch mehrere Ereignisse der Art erzählt werden.

7 Gehlen neues Journ. Th. I. S. 222. Th. II. S. 110. G. XVIII. 336.

eine Art Lupinen[1]. Am 8. Juli 1805 war die Erscheinung noch viel auffallender, indem während eines Regens bei heftigem Sturme zu Landshut in Schlesien vermeintliche Hagelkörner hörbar gegen die Fenster flogen und, da sie nicht schmolzen, aufgelesen und gegessen wurden; Wildenow konnte sie des Keimes wegen nicht genau bestimmen, hielt sie aber für *melampyrum arvense* oder sogenannten Wachtelweizen[2], nach der Untersuchung von Heim aber waren auch diese Knollen der *Ranunculus ficaria* oder *Chelidonium minus*, und die vermeintlichen Keime bloſse Wurzelfädchen, woran diese festzusitzen pflegen[3]. Merkwürdig ist noch, daſs im Jahre 1804 in Andalusien eine Menge Korn herabfiel, wovon man nachher in Erfahrung brachte, daſs es von einer Tenne zu Tanger durch den Sturmwind weggeführt war[4]. Auch in Persien in der Provinz Ramoe unweit des Ararat fielen 1828 und der Sage nach bereits 1824 eine Menge Früchte, an einigen Orten bis 6 Zoll hoch, die von Schafen und nachher auch von Menschen gegessen wurden. Desfontaines erklärte sie für Früchte von *Lichen lecidea*[5]. Am gründlichsten hat H. R. Göppert[6] die vielen Nachrichten über Früchteregen untersucht und aufgefunden, daſs in den meisten Fällen die Knollen der *Ranunculus ficaria* nicht einmal mit dem Regen herabgefallen, sondern nur durch ihn entblöſst und vom Wasser fortgeschwemmt waren, wie sich bei dem im Juli 1830 in Schlesien beobachteten Ereignisse dieser Art vollständig nachweisen lieſs. Diesem ähnliche Kornregen wurden am 28. Juli 1736 zu Bielitz in Schlesien[7], 1550 in Thüringen und 1570 in Oberbaiern[8], 1571 bei Breslau[9], 1548 bei Klagenfurt[10], 1571 und

---

1 Ann. Ch. Phys. XLIX. 108.

2 Voigt's Magaz. Th. X. S. 466.

3 G. XXI. 126.

4 Ann. de Chim. XLVIII. 105.

5 Ann. Ch. Phys. XXXIX. 423. Vergl. Schweigger-Seidel Journ. LX. 393.

6 Schlesische Provinzialblätter. 1831. Jan. u. Feb. Poggendorff Ann. XXI. 550.

7 Gelehrte Neuigkeiten Schlesiens. 1736. S. 397.

8 G. Zenner's Novellen aus der gelehrten und kuriosen Welt. Frankf. 1694.

9 Nicol. Pohl Hemerol. Siles. Vratisl. 1612. p. 220.

10 Fincelius Miscell. Cur. Decur. II. app. p. 14.

1691 zu Gottleberg und Villach[1], wobei es am letztern Orte Berberitzbeeren seyn sollten, und vermuthlich noch an vielen andern Orten, wo jene Pflanze häufig wächst, beobachtet.

Am häufigsten ist der sogenannte *Schwefelregen*, d.h. das Herabfallen eines gelben oder röthlichen Pulvers, meistens in Begleitung von wirklichem Regen, beobachtet worden. Etwas verdächtig scheint die Nachricht von einem Regnen wirklichen Schwefels am 24. Mai 1801 in der Gegend von Rastadt, den man auf der Oberfläche des aus dem Hagel und Regen in einem Gefäfse vereinten Wassers fand, und welcher letzterem die Eigenschaft, an einem Stabe haftend nach Art des gewöhnlichen Schwefels zu brennen, mitgetheilt haben sollte[2]. Sehr vollständig constatirt ist dagegen der Regen einer grofsen Menge von vegetabilischem Staube, welcher in der Nacht vom 24. Mai 1804 mit einem Gewitter herabfiel und grofse Strecken in und um Kopenhagen bedeutend stark bedeckte. Genauere Untersuchungen ergaben, dafs dieser Blüthenstaub von der gegen 8 Meilen entfernten Insel Amoch durch einen Sturmwind herbeigeführt war, ohne dafs man jedoch genöthigt ist, die Elektricität dabei als mitwirkend anzunehmen[3]. Ein ähnlicher gelber Staub soll am 18. Juni 1815 in Petersburg gefallen seyn[4]; Scheuchzer erzählt von einem solchen bereits 1677 am Zürcher See wahrgenommenen gelben Pulver, welches alle Gegenstände bis zur Dicke von einer Linie hoch bedeckte[5]; auch machte Hollmann[6] 1749 in Göttingen und Grischow in Berlin dieselbe Beobachtung, noch mehr aber wurde das Thatsächliche dieser Erscheinung begründet, als am 19. Apr. 1761 in der Gegend von Bourdeaux Regen mit vielem gelben Pulver gefärbt herabfiel, wovon Proben nach Paris gesandt und von der Akademie für Blüthenstaub der Tannen erklärt wurden, die damals zahlreich in jener Gegend blühten. Auch Schübler[7] erkannte das am 8. und 13. Mai 1823 bei Crailsheim mit einem Gewitterregen

---

1 Thuani histor. L. 50.
2 Aus Esprit de Journ. 1801. Jul. in Voigts Mag. III. 595.
3 Voigt Magaz. Th. VIII. 54 u. IX. 193. G. XVIII. 337.
4 G. LIII. 389.
5 Meteorologic. Helvetic. p. 14.
6 Comm. Soc. Gott. T. III. p. 59.
7 Schweigger's Journ. N. F. XI. 36.

herabfallende gelbe Pulver, welches aus Kügelchen bestand, die auf dem Wasser schwammen, für Blüthenstaub von Fichten. Göppert hat aufserdem noch viele ältere Nachrichten von vermeintlichen Schwefelregen aufgefunden, die sich insgesammt auf die angegebene Ursache zurückführen lassen, z. B. 1597 zu Stralsund, 1621 zu Leipzig, 1629 zu Wittenberg, 1670, 1679 und 1681 zu Altenburg nach J. Wolf[1], 1646 zu Kopenhagen nach A. Worms[2], welcher jedoch von eigentlichem Schwefel redet, 1665 zu Friedrichsstadt in Norwegen nach J. M. Stobäus[3], der diesen vermeintlichen Schwefel vom Hecla ableitet, obgleich die angegebenen Kennzeichen den vegetabilischen Ursprung darthun, 1658 im Mansfeldischen nach Spangenberg[4], 1690 in Juni zu Cassel nach J. Dolaeus[5], 1721 im Braunschweigischen nach Siegesbeck[6], 1731 im Lüneburgischen nach Berger[7], zu Chemnitz nach Meurer[8] und zu Ereiberg nach Möller[9]; sehr genügend aber wird das ganze Phänomen durch Schmieder[10] beschrieben. Aus botanischen Gründen glaubt Göppert, dafs die Schwefelregen im März und April vom Erlen- und Haselnufs-Strauche, die im Mai und Juni von Fichtenarten, Wachholder und Birke, im Juli, August und September von Bärlappsamen, Rohr-, Liesch oder Teichkolben herzuleiten sind.

Auch das Regnen *mineralischer Stoffe* ist wiederholt beobachtet worden. Keine besondere Erwähnung verdient das Herabfallen des Staubs, der vulcanischen Asche und des Sands, obgleich diese Erscheinungen sich unmittelbar den erzählten anreihen lassen und die erdigen Stoffe nicht selten mit vegetabilischen gemengt sind, weswegen auch anzunehmen ist, dafs sie in der Regel auf gleiche Weise durch Sturmwinde fortgeführt werden. In den meisten Fällen läfst sich diese letztere Ur-

---

1 Misc. cur. sive Ephem. med. phys. Decur. II. Norimb. 1689.
2 Museum Lib. I. Sect. I. cap. 2.
3 Sim. Pauli Comm. de abusu Tabac. et Thée.
4 Chronic. Mansfeld. T. I. p. 395.
5 Append. ad encyclop. Chir. p. m. 122. Obs. 21.
6 Nova literaria Anni 1684.
7 Versuche in der Natur. S. 110.
8 Meteorologia. p. 280 u. 298.
9 Annales Friberg. Ht. 1.
10 Ephemerid. Acad. Nat. Curios. Cent. III. et IV. Norimb. 1715.

sache genügend nachweisen, in einigen seltenen Fällen bleibt es jedoch zweifelhaft, ob nicht die auf diese Weise zur Erde gelangenden Substanzen den Meteorolithen beizuzählen sind und also zu einer andern Classe von Phänomenen gehören. Dahin ist zu rechnen die durch Chladni[1] erwähnte Erzählung, wonach 1612 bei Madgeburg, Lohburg u. s. w. Schwefelklumpen von der Dicke einer Faust[2] und in England ein etwa einen Zoll groſses Stück Schwefel[3] gefunden worden seyn sollen, deren Ursprung man für meteorisch hielt. Hieran schlieſsen sich dann auch die Nachrichten vom vermeintlichen Blutregen, da der Staub zuweilen zu rothen Tropfen vereinigt wird. So beobachtete Dr. Lavagna[4] zu Caneto im Thal d'Oneglia während der Nacht vom 27. Oct. 1817 das Herabfallen eines feinen röthlichen Staubs. Als es darauf an andern Tage regnete, nahm das Wasser die minder roth gefärbten Theile weg, die stärker farbigen sammelten sich aber in Vertiefungen und glichen sehr dem Blute. Auf gleiche Weise hinterlieſs der Regen auf dem gebleichten Wachse zu Orleans rothe Flecken, die aus Eisenoxyd, Kiesel, Thon, Kalk und Kohlensäure bestanden[5].

Nachrichten vom Regnen des Staubs sind seltener, weil es weniger auffallend ist, solche Stoffe zu finden, dennoch aber sind genug davon aufgezeichnet, um die Sache selbst auſser Zweifel zu setzen. So beobachtete Döbereiner[6], daſs im Winter 1812 auf 1813 mehrmals mit dem Schnee und auf demselben Staub herabfiel, welcher aus Kalk, Kiesel und einer Spur von Eisen bestand. Ebenderselbe erhielt durch v. Göthe etwas grünen, mit dem Regen herabgefallenen Staub, welcher nach der Analyse aus 15 Theilen kohlensaurem Kalk, 4 Th. Kiesel, 3 Th. Pflanzensubstanz bestand und 2 Th. Verlust gab. Auch J. de Pourtalez[7] sah am 14. März 1813 zu Catanzaro in Catalonien aus einer den Tag verdunkelnden und allen Gegenständen einen röthlichen Schein gebenden

1 Ueber Feuermeteore. Wien 1819. S. 367.
2 Theatrum Europ. T. IV. p. 399.
3 Phil. Trans. 1736. p. 427.
4 Ann. Ch. et Phys. 1818. Juin. p. 208.
5 Ann. Ch. et Phys. XLV. 419.
6 Schweigg. Journ. IX. 222.
7 Ebend. 217.

Wolke eine grosse Menge rother Erde herabfallen, die der Richtung des Winds nach aus Africa herübergeführt seyn musste. In der nämlichen Nacht fiel nach der Angabe des Lorenzo Luigi Linussio zu Tolmezzo in Friaul über weissem Schnee ein zwei bis drei Zoll hoher röthlicher Schnee bei NO-Wind bis zu Höhen von 150, mitunter sogar von 300 Toisen über der Meeresfläche, und über ihm lag wieder weisser Schnee. Der Wind war den ganzen Tag stark, gegen die Nacht wurde er zum Orkane und an einigen Orten fiel Hagel[1]. Dieselbe röthliche Substanz fiel am 14. März 1813 zu Gerace, dem ehemaligen Locci, mit Regen, zu Abruzzo aber und in beiden Calabrien als blosser Staub herab. Nach der Analyse des Luigi Sementini[2] bestand er aus 33,00 Kiesel, 15,5 Thon, 11,5 Kalk, 1 Chrom, 14,5 Eisen und 9 Kohlensäure, der Verlust von 15,5 wurde einem auf dem Filtro zurückgelassenen kohlenstoffhaltigen Staube beigemessen und Sementini war geneigt, die Substanz für vulcanischen oder meteorischen Ursprungs zu halten. Spedalieri[3] dagegen fand nach einer genauern Analyse 8 gr. Kiesel, 5 Eisen, 3 Thon, 1 Kalk, $\frac{1}{4}$ Kohlensäure, $\frac{1}{4}$ Schwefel, 2 empyrheumatisches Oel, 2 Kohlenstoff, 2 Wasser und 2,25 Verlust, wonach die Bestandtheile weder auf vulcanischen, noch auf meteorischen Ursprung deuten und man daher annehmen muss, dass die heftigen Frühlingswinde den Staub aus Africa herbeigeführt haben. Auf ähnliche Weise fiel am 13. März Abends bis 14. Mittags über einen grossen Theil von Kärnthen 11 Zoll hoher Schnee, wovon 2,5 Z. weiss, dann 3 Zoll röthlich und wieder 5,5 Zoll weiss waren. Hollemschnigg untersuchte ihn und fand in 100 ℔ Schnee 236 gr. erdige, im Wasser unauflösliche, dem Aeussern nach thonartige Substanz, welche aus 10,24 Kieselerde, 47,83 Thonerde, 10,03 Eisenoxyd, 18,98 Kalk, 12,78 Talk und 0,14 Verlust bestand[4]. Am 16. Mai 1829 ereignete sich zu Siena ein Erdregen, welcher aus vegetabili-

---

1 Eb. IX. 220.

2 Brugnatelli Annali cet. 1818. p. 32. u. 469. Daraus in G. LXIV. 327. und Schweigger's Journ. XIV. 130.

3 Brugnatelli a. a. O. p. 471.

4 Hesperus T. XXX. S. 67. V. Hosser in G. XLVI. 99.

scher Materie, kohlensaurem Eisen, kohlensaurem Kalk, Magnesium, Thon und Kiesel bestand[1].

Am meisten Aufsehn hat der Schlammregen am 6. April 1804 zu Udine erregt, welchen zuerst Fortis[2] mit der Bemerkung bekannt machte, daſs seine Bestandtheile weder auf meteorischen, noch auf vulcanischen Ursprung deuteten, man ihn also für solchen Schlamm halten müsse, womit die dortigen Ströme bei Ueberschwemmungen die Ebenen zu bedecken pflegen. Für unzweifelhaft meteorischen Ursprungs wäre aber die rothe Substanz zu halten, welche den am 2. Nov. 1819 zu Blankenburg und Dixmude in Flandern gefallenen Regen roth färbte, wenn es richtig ist, daſs der Analyse nach die färbende Substanz aus salzsaurem Kobaltoxyd bestand[3], dagegen ergaben spätere Untersuchungen, daſs die schwarze Masse, welche am 23. Nov. 1819 während eines schrecklichen Gewitters zu Montreal den Regen wie Tinte färbte, nichts anderes als Ruſs war, welchen der Wind von einem entfernten brennenden Walde herbeigeführt hatte[4]. Merkwürdig ist aber, daſs sich das Herabfallen des schwarzen Staubs bei heftigen Gewittern in jenen Gegenden öfter wiederholt. Sewell[5], Präsident der literärischen Gesellschaft zu Quebeck, erzählt nämlich, daſs im October 1785 und im Juli 1814 über einen groſsen District von Canada nach einer Finsterniſs, die den Tag zur vollständigsten Nacht machte, in wiederholten Absätzen solcher schwarzer Staub herabfiel, welcher jedoch nicht näher untersucht wurde, einigen angegebenen Kennzeichen nach aber einer feinen Asche glich. Sewell bemerkt dabei mit Recht, daſs 1785 das Niederfallen der ascheartigen Substanz über einen District von New Brunswick bis Montreal, etwa 300 engl. Meilen in die Länge und 200 in die Breite statt fand, daſs die erst braungelb, dann schwarz erscheinenden Wolken damals und 1814 durch NW-Wind herbeigeführt wurden, daſs man von keinem gleichzeitigen Waldbrande Nachricht erhalten habe, ein solcher auſserdem

1 Ann. de Chim. et Phys. XLV. 419.
2 Journ. de Phys. T. LVI. p. 116. G. XVIII. 332.
3 Annales générales des Sciences physiques. 1819. Nov.
4 Edinb. Phil. Journ. Nr. IV. p. 381.
5 Edinb. New Phil. Journ. Nr. XXVIII. p. 221.

in jenen holzarmen Gegenden überhaupt kaum möglich sey und die Asche außerdem der von verbranntem Holze nicht geglichen habe. Hiernach hält er sie für vulcanisch und glaubt an die Existenz eines unbekannten Vulcans auf Labrador; wahrscheinlicher scheint es aber, sie von Island abzuleiten, obgleich die große Entfernung diese Hypothese etwas unwahrscheinlich macht.

C. Menge des Regens.

Wenn es sich um die Regenmengen handelt, so läßt sich diese Untersuchung mehrseitig anstellen, insofern man zuerst die Größe der einzelnen Tropfen, dann die Zahl derselben neben einander und die Schnelligkeit, in welcher sie auf einander folgen, sowohl an sich als auch in Beziehung auf die Höhen in fast vertical aufsteigender Richtung, demnächst die Menge und Dauer der Ergüsse nach den verschiedenen Orten und Jahrszeiten, und endlich eben diese Regenmengen in Beziehung auf einen möglichen periodischen Wechsel berücksichtigt, wobei zugleich ihr Zusammenhang mit andern meteorischen Erscheinungen, namentlich den Winden und der Luftelektricität, betrachtet werden kann.

a) Größe der Regentropfen.

Es ist bereits als bekannt erwähnt worden, daß die Regentropfen von den kleinsten, die man als feinste Kügelchen oft, insbesondere auf dunklem rauhem Zeuge, wahrnimmt, bis zu den größten wechseln, die man am besten aus der gegebenen Wassermasse erkennt, wenn sie durch den Wind gegen die Fensterscheiben getrieben werden oder auf trocknen Flächen einzeln auffallen. Da der Regen überhaupt in dem Herabfallen der Tropfen besteht, die durch Vereinigung der feinen Dunstbläschen gebildet werden, so müssen jene so viel größer seyn, je bedeutender die Menge von diesen ist. Letztere, nämlich die Menge der vorhandenen Dunstbläschen, wird aber bedingt theils durch die größere Nähe, worin sie sich neben einander befinden, theils durch die beträchtlichere Höhe, bis zu welcher sie über einander schweben, wenn man voraussetzt, daß sie selbst vermöge ihrer Leichtigkeit und des Widerstands der Luft vor ihrer Vereinigung entweder in stets gleich-

bleibender Entfernung von der Erdoberfläche sich schwebend erhalten, oder nur sehr langsam in verticaler Richtung herabsinken. Hiernach muſs also die Gröſse der Tropfen der Dicke der Wolken, die sich durch eine dunklere bis zur schwarzen Färbung ankündigt, und ihrer verticalen Ausdehnung proportional seyn, was mit der Erfahrung übereinstimmt. Die Bildung des Dunsts und die Vereinigung seiner Bestandtheile zu Tropfen erfolgt aber durch Abkühlung, diese kann zwar von unten auf bis zu einer beträchtlichen Höhe, aber auch nur in einzelnen höhern oder niedrigern Luftschichten statt finden; die namentlich aus gröſsern Höhen herabfallenden Tropfen bewegen sich dann zuletzt nicht mehr in Wolken, sondern durch einen dunstfreien Raum, und können also ebensowohl durch Verdampfung an Volumen abnehmen, als auch durch Aufnahme von Wasserdampf wachsen, wobei ihre Zunahme durch die Menge des vorhandnen Dampfs und ihre eigene geringe Temperatur bedingt wird.

Werden alle diese Bedingungen berücksichtigt, so folgt daraus, daſs im Allgemeinen die Tropfen bei niedrigerer Temperatur und unter höhern Breiten kleiner, bei stärkerer Wärme und unter geringern Breitengraden aber gröſser sind. Auch der Nebel befeuchtet die Gegenstände mit kleinen Tropfen, eine scharfe Grenze zwischen beiden Hydrometeoren findet überhaupt nicht statt, die kleinsten Tropfen sind daher diejenigen, welche aus solchen Nebelschichten herabfallen, weil diese nur niedrig gehn[1], ferner die dem Regen im Winter und bei geringerer Wärme zugehören, weswegen solche auch bei weitem am wenigsten reichliches Wasser geben. Weit gröſser sind dagegen die Tropfen im Sommer und bei Gewittern nach anhaltender Wärme, woraus erklärlich wird, daſs die naſskalten Sommer zwar die gröſste Menge anhaltender Regenschauer, aber dennoch nicht selten die geringste Menge von Regenwasser liefern, indem bei einem einzigen heftigen Gewitter oft mehr Wasser herabfällt, als wenn eine oder selbst mehrere

1 Gehler a. A. Th. III. S. 309. bezeichnet das Phänomen durch den eigenthümlichen, nicht allgemein bekannten Ausdruck: *Naſs-Niedergehn*, und bemerkt dabei ganz richtig, daſs die Tröpfchen durch Vereinigung der Dunstbläschen in den untern Theilen der Nebelschichten entstehn.

Wochen lang kein Tag ganz frei von Regenschauern ist. Die gröfsten Tropfen unter mittlern und höhern Breiten fallen einzeln als Vorläufer nachfolgenden Hagels herab, haben unter mittlern Breiten die Gröfse starker Erbsen, der Haselnüsse und wohl noch darüber, erlangen aber dennoch nicht die Gröfse, welche man nach den Berichten der Reisenden[1] in der äquatorischen Zone antrifft, wo sie zuweilen einen Durchmesser von einem ganzen Zolle erlangen sollen und beim Auffallen auf die nackte Haut eine sehr unangenehme Empfindung erzeugen[2]. Dafs die namentlich vor starken Hagelwettern vorangehenden und oft als sichere Vorboten derselben zu betrachtenden einzelnen dicken Regentropfen aus den ersten Hagelkörnern entstehn, welche von bedeutenden Höhen herabfallend in den untern, noch nicht abgekühlten Regionen der Atmosphäre schmelzen, unterliegt nach meinen darüber angestellten Beobachtungen durchaus keinem Zweifel[3], vielmehr nimmt man deutlich wahr, wie die in zunehmend kürzern Zeitintervallen einander folgenden einzelnen Regentropfen und demnächst Hagelkörner, letztere nur zum Theil geschmolzen und daher minder grofs als die spätern, allmälig in einander übergehn, und man kann mit ziemlicher Sicherheit von diesen Regentropfen auf die Gefahr des bevorstehenden Hagelns schliefsen. Je gröfser und mehr einzeln nämlich bei unausgesetztem Toben und Brausen des Gewitters jene sind, desto mehr ist ein starker Hagelschlag zu befürchten, wogegen, ungeachtet der übrigen Vorzeichen, die Gefahr weit geringer ist, wenn kleine und häufige Tropfen herabzufallen beginnen; und hat es zuvor einige Zeit geregnet, so ist auf jeden Fall kein starkes Hagelwetter mehr zu fürchten, was mit der von mir vertheidigten Theorie des Hagels sehr genau übereinstimmt. Jene grofsen Regentropfen zeichnen sich zugleich auch durch die Heftigkeit ihres Aufschlagens aus, weil sie als Hagelkörner eine gröfsere Geschwindigkeit erlangen und diese später noch zum Theil beibehalten. Uebrigens ist die

---

1 Peron's Reisen. D. Ueb. Th. I. S. 27. Journ. de Phys. T. LXVIII. p. 436. T. LXX. p. 157.

2 Golberry Fragmens. II. 306.

3 Vergl. Art. *Hagel*. Bd. V. S. 49, wo ich die von mir genau beobachteten Hagelwetter bereits erwähnt habe.

Geschwindigkeit des Fallens bei den Regentropfen nur gering, und zwar um so geringer, je kleiner sie selbst sind, weil die Luft ihrem Falle einen zu bedeutenden Widerstand entgegensetzt. Es läſst sich durch Rechnung darthun, daſs die Regentropfen keine bedeutende Fallgeschwindigkeit erhalten und ebendaher auch keinen groſsen Effect haben können, allein die hierfür erforderlichen Gröſsenbestimmungen sind allzu unsicher, als daſs sich ein genaues Resultat erwarten lieſse, wie eine nähere Erörterung dieser Aufgabe darthun wird[1]. Den Beobachtungen nach nehmen wir nur dann eine gröſsere Geschwindigkeit und ein stärkeres Aufschlagen der Regentropfen wahr, wenn sie durch den Wind fortgetrieben werden.

b) Stärke des Regens im Allgemeinen.

Auf gleiche Weise, als die Regentropfen von den kleinsten bis zu den gröſsten verschieden sind, zeigt sich auch ein Unterschied in ihrem nähern oder fernern Beisammenseyn und in der Schnelligkeit, mit welcher sie einander folgen. Hierbei darf ich als allgemein bekannt und kaum der Erwähnung werth voraussetzen, daſs zuweilen, selbst ziemlich lange Zeit anhaltend, nur einzelne Tropfen in der Entfernung mehrerer Zolle von einander und in bedeutenden Zwischenzeiten herabfallen, was man schwache Regen nennt, wogegen zu andern Zeiten die Tropfen nicht bloſs dicht neben einander sind, sondern sich auch so schnell folgen, daſs sie zusammenhängende Wasserstrahlen zu bilden scheinen, weswegen man sich wohl zur Bezeichnung des Ausdrucks bedient, der Regen ströme wie Bindfaden vom Himmel herab. Diese allgemein bekannte Thatsache ist an sich einer besondern Betrachtung nicht werth, gewinnt jedoch dadurch an Interesse, wenn man die sehr ungleichen Wassermengen neben einander stellt, die an verschiedenen Orten während gleicher Zeiträume zum Vorschein kommen und die man nach der hierdurch erzeugten Wasserhöhe in einem beliebigen Längenmaſse oder nach der auf eine bestimmte Fläche fallenden Quantität in irgend einem kubischen Maſse ausgedrückt zu bestimmen pflegt[2].

---

1 Vergl. Art. *Widerstand.*

2 Ueber die hierzu geeigneten Meſswerkzeuge s. Art. *Regenmaſs.*

In Deutschland und man darf wohl im Allgemeinen sagen in allen Ländern, welche unter dem 48. Grade nördlicher Breite oder unter höhern Breitengraden liegen, giebt ein mäfsiger und selbst auch ein stärkerer Regenschauer, welcher gegen eine Stunde dauert, selten einen halben pariser Zoll Regenhöhe, und es kann schon eine ganze Nacht hindurch oder selbst 24 Stunden lang beträchtlich stark regnen, wenn die Höhe des im Regenmesser aufgefangenen Wassers das Doppelte jener Gröfse zeigen soll, nur sehr selten aber ist dieses bei einem heftigen Gewitter der Fall. Geht man über den 50. Breitengrad hinaus, so werden die Regenhöhen noch beträchtlich geringer, jedoch würden die Ausnahmen von dieser allerdings wohlbegründeten Regel häufiger seyn, wenn nicht die Regenmesser im Ganzen selten wären und daher manche ungewöhnlich starke Regengüsse hinsichtlich der gegebenen Wasserhöhe unbekannt blieben. Aus dieser Ursache ist es abzuleiten, dafs man nur wenige Beispiele ungewöhnlich starker Regenmengen genau kennt, die entweder während einiger weniger Stunden oder selbst mehrerer anhaltend regnerischer Tage herabfielen.

Vorzugsweise verdient in dieser Beziehung die ganz ungewöhnliche Regenmenge genannt zu werden, wodurch sich das Jahr 1813 namentlich in der Zipser Gespannschaft in Ungarn auszeichnete. Nach der Beschreibung von Rumi[1] war schon der Mai anfangs regnerisch, der Juni gleichfalls, dann das Ende des Juli, und die drei folgenden Monate August, September und October hatten zusammen kaum 6 ganz heitere Tage. In der Nacht des 24. Aug. trat aber der 48 Stunden lang anhaltende Regen ein, welcher unter andern den von der Lomnitzer Spitze kommenden Steinbach und die Poper, worin er sich ergiefst, nebst den andern in jenen Gebirgen entspringenden Flüssen so anschwellen machte, dafs namentlich die Vorstädte des Städtchens Käsmark, letzteres selbst und die Umgegend durch ganz unerhörte und aus frühern Zeiten nicht bekannte Ueberschwemmungen unermefslichen Schaden erlitten. Auf ähnliche Weise regnerisch war hier in Heidelberg und in einem grofsen Theile von Deutschland das Jahr 1829, jedoch kam es nicht zu anhaltenden Ueberschwemmungen, wie

1 Wiener Zeitschrift. Th. V. S. 57 ff.

in dem bekannten nassen Jahre 1816 und im Spätjahre 1824. Das letztere Jahr ist überhaupt wegen der grofsen Regenmenge ausgezeichnet, welche über vielen Gegenden des nordwestlichen Europa's hauptsächlich im Herbste herabfiel. Namentlich betrug dieselbe in Manchester im September 5,440, im October 6,896, im November 5,510 und im December 6,820, also im Ganzen 24,660 engl. oder 23,14 par. Zoll, wodurch auch dort bedeutende Ueberschwemmungen entstanden[1]. Eben so erstaunlich waren die Regenmengen zu La Chapelle bei Dieppe, und selbst in Paris, wo im October 1823 nur 49 Millimeter Regen fielen, betrug 1824 die Menge desselben 110 Millimeter[2]. Am Ende des Monats October und im Anfange des Monats November waren auch in hiesiger Gegend die starken Regen, welche die allgemein bekannt gewordenen Ueberschwemmungen erzeugten[3]. Sie waren hier in Heidelberg ohne Zweifel etwas geringer, als in der Umgegend, das Regenmafs gab aber in der Nacht zum 27. Oct. nur 1 Zoll; am 28. Nachmittags 1,5 Z., am 30. Abends 0,75 Z., am 31. Abends 0,5 Zoll und am 1. Nov. 1 Zoll, also in ungefähr 5 Tagen nicht mehr als 4,75 oder höchstens auf 24 Stunden fast ununterbrochenen Regens nur etwa 1 Zoll, und dennoch erzeugte ein solcher Regen, zum Theil auch wegen seiner langen Dauer und weiten Verbreitung über verhältnifsmäfsig ausgedehnte Strecken so bedeutende Wasserschwellen der gröfsern und kleinern Flüsse. Zu der nämlichen Zeit fielen[4] vom 28. Oct. Abends bis zum 30. Oct. Morgens zu Freudenstadt auf dem Schwarzwalde 7,2 Zoll, zu Wangen im Neckarthale 5,5 Z., zu Hohenheim auf den Fildern 4,7 Z., zu Stuttgart 4,0 Z., zu Genkingen auf der Alp 3,4 Z., zu Tübingen 3,3 Z. und zu Giengen am südlichen Abhange der Alp 3,3 würtemb. Zoll, zwar überall mehr als hier, aber doch nicht so bedeutend viel, um das Erstaunen über die unglaublichen Regenmengen an andern Orten gänzlich zu entfernen. Arago[5] giebt eine Zusammenstellung einiger ausgezeichneten Fälle dieser Art, ins-

1 Bibl. univ. XXVIII. 31.

2 Ann. Chim. Phys. XXVII. 376.

3 Poggendorff. Ann. III. 149.

4 Schübler a. a. O. S. 149. und ausführlicher in Schweigger's Journ. XLIV. 235.

5 Ann. Chim. et Phys. XXXVI. 413.

besondere vom Jahre 1827, indem namentlich am 20. Mai zu Genf während drei Stunden 6 Z., zu Montpellier vom 23. bis 27. Sept. 15 Z. 8 Lin., ebendaselbst neben der Stadt während 48 Stunden vom 24. bis 26. desselben Monats 11 Z. 10 Lin. Regen herabfielen. Tardy de la Brossy erhielt seit 23 Jahren am 9. August 1807 an einem Tage 9 Zoll 3,5 Lin. als die gröfste beobachtete Regenmenge und am 9. October desselben Jahrs während 24 Stunden 29 Zoll 3 Linien[1]. Eilf Tage des nämlichen Monats gaben 36 Zoll und fast 1 Lin. Regenhöhe, also ungefähr die doppelte jährliche von Paris[2]. Das stärkste von allen und wahrhaft ans Unglaubliche grenzend ist jedoch die Angabe zuverlässig genannter Augenzeugen, dafs am 25. Oct. 1822 über einen kleinen District bei Genua aus einer schweren Gewitterwolke nach genauen Schätzungen, jedoch ohne eigentliche Messung, 30 Zoll Regenwasser herabgefallen seyn sollen; das bis 30 Palmen hoch angeschwollene Wasser bildete in der Ebene von Pilla und Orti einen 1500 Fufs breiten Strom[3].

Ueberhaupt scheinen einige Länder, welche das mittelländische Meer an seiner Nordseite umgeben, solchen unglaublichen Regengüssen vorzugsweise ausgesetzt zu seyn, denn auch Flaugergues[4] erhielt zu Viviers am 6. Sept. 1801 während 18 Stunden 13 Z. 2,3 Lin. Regenwasser und d'Hambres-Firmas[5] im Juni 1824 zu Alais 8 Zoll, sonach fünfmal so viel, als im Mittel seit 1802. Auch zu Genf fielen am 20. Mai 1827 bei einem Gewitter, welches ohne bedeutenden Sturm mit etwas Hagel anfangend die Umgegend des Sees Leman traf, 6 Zoll Regenwasser, was bei einer mittlern Regenhöhe von etwa 30 Zoll, und da das Jahr 1816 nur 36 Zoll gab, allerdings sehr bedeutend ist[6]. Im Allgemeinen sind übrigens die mittlern jährlichen Regenhöhen an der französischen Küste des mittelländischen Meers nicht grofs, einzelne Regengüsse aber so viel stärker, je geringer die geographische Breite und je

1 Arago setzt in Worten hinzu: Neunundzwanzig Zoll drei Linien, um über diese enorme Menge keine Ungewifsheit zu lassen.
2 Bibl. univ. T. IV. p. 186. u. T. XXXVI. p. 239.
3 Bibl. univ. T. XXII. p. 67. Vergl. Ann. Ch. Ph. XXXVII. 400.
4 Bibl. univ. T. VIII. p. 132.
5 Bibl. univ. T. XXVII. p. 187.
6 Ebend. T. XXXIV. p. 84.

höher die Temperatur derjenigen Orte ist, wo sie sich ereignen. Minder auffallend muſs es daher erscheinen, daſs an einigen Orten der äquatorischen Zone zuweilen eine unglaubliche Menge Regen herabfällt, weil dort die Regenzeit meistens nur von kurzer Dauer, dann aber zugleich die Menge des Regenwassers ungleich gröſser ist, als unter höhern Breiten; auch würden wir aus jenen Gegenden weit mehr Nachrichten von ungewöhnlich starken Regengüssen haben, wenn dort die Zahl der genauen Beobachter gröſser wäre. Unter andern berichtet Roussin[1], daſs zu Cayenne (4° 56′ nördl. Br., 34° 35′ westl. L.) in der Nacht vom 14. zum 15. Febr. 1820 von 8 Uhr Abends bis 6 Uhr Morgens 10,25 Zoll und vom 1. bis 24. Febr. desselben Jahrs 12 Fuſs 7 Z. Regen herabfielen. Auf der Caraibischen Insel Grenada betrug die Regenmenge am 21. Oct. 1817 binnen 24 Stunden 8 Zoll[2]. Nach Adie[3] betrug die Regenmenge zu Bombay im Jahre 1827 am

13. Juni	— 7,00 Zoll		19. Juni	— 3,80 Zoll	
15. -	— 3,18 -		20. -	— 4,04 -	
16. -	— 5,17 -		24. -	— 2,21 -	
17. -	— 2,10 -		25. -	— 3,95 -	
18. -	— 3,36 -		28. -	— 5,92 -	

Nach einer andern Angabe von Scott[4] fielen daselbst während 12 Tagen 32 engl. Zoll Regen, welches ungefähr so viel beträgt, als die mittlere Regenhöhe in England. Noch mehr ins Unglaubliche geht die Angabe des Antonio Bernardino Pereira Lago, welcher zu San Luis do Maranhao (2° 29′ südl. Br) in dem einzigen Jahre 1821 nicht weniger als 23 F. 4 Z. 9,7 Lin. engl. Regenwasser gemessen zu haben versichert, und dennoch scheint diese Gröſse nach der durch v. Humboldt angestellten Prüfung der Beobachtungsart Glauben zu verdienen; auch findet Letzterer sie für einen Ort, wo alle Bedingungen zur Vergröſserung der Hydrometeore vereinigt wirken, keineswegs übertrieben, indem unter der heiſsen

1 Ann. Ch. et Phys. XV. 425. XXVII. 406. G. LXVIII. 212. Edinb. Phil. Journ. N. XV. p. 185. Alle aus Silliman Amer. Journ. of Sc. IV. 375., wo die Angabe als unbezweifelt richtig mitgetheilt wird.

2 Ann. Ch. Ph. IX. 223.

3 Edinb. Journ. of Science. N. XIX. p. 142.

4 Edinb. Phil. Journ. New Ser. N. VII. p. 182.

Zone America's in den waldigen Gegenden der jährliche Regenertrag gewöhnlich auf mindestens 100 bis 112 par. Zoll zu steigen pflegt[1]. Dagegen giebt es selbst unter der äquatorischen Zone Orte, wo die Regenmenge ungleich geringer ist, als selbst in der gemäſsigten, unter andern namentlich in Cumana, wo sie kaum 7 bis 8 Zoll beträgt. Die Tropfen sind dort ausnehmend groſs, wie in der Regel in den regenarmen Gegenden, aber sie fallen sehr einzeln und auſserdem sind die Monate von December bis September sehr trocken, die Regen sind Schlagregen, dauern nur etwa 15 bis 20 Minuten und geben in wenigen Minuten die verhältniſsmäſsig groſse Wassermenge. So erhielt v. Humboldt während 6 Minuten das Maximum der in einer bestimmten Zeit herabfallenden Wassermenge von 4,5 Linien[2]. In der Mission San Antonio de Javita in Guiana unter 0° bis 3° N. Br dagegen regnet es fast das ganze Jahr, weil der Wind keine trocknen Luftströme herbeiführt, und die Missionäre versicherten, daſs es zuweilen fünf Monate ohne Unterbrechung regne. Bei gewöhnlichem Regnen betrug die Menge des herabfallenden Wassers am ersten Mai in 5 Stunden 21 Lin., am dritten Mai in 3 Stunden 14 Linien[3]. Auch zu San Carlos fielen an verschiedenen Tagen in 2 Stunden 7,5 Lin., in 3 Stunden 18 Lin., in 9 Stunden 48 Lin., und so schätzt v. Humboldt[4] die jährliche Regenmenge auch dort auf 90 bis 100 Zoll, zu Vera-Crux aber beträgt sie 62 Zoll 2 Linien.

c) Von der Höhe abhängige Menge des Regens.

Betrachtet man die Regentropfen als entstanden aus dem Dampfe der Atmosphäre durch Abkühlung der Luft und setzt man voraus, daſs dieser Niederschlag gleichzeitig in einer Schicht der Atmosphäre von bedeutender Dicke statt finde, so müssen unter der Voraussetzung einer länger als die Fallzeit von der obersten Höhe herab dauernden Ausscheidung dieser

---

1 Aus Annaes das Sciencias, das Artes e das Letras. T. XVI. p. 54. in v. Humboldt Reis. D. Ueb. Th. V. S. 270.

2 Eb. Th. V. S. 716.

3 Eb. Th. IV. S. 216.

4 Ebd Th. IV. S. 501.

Art die von der obersten Grenze derselben herabfallenden Tropfen an Zahl und Gröfse durch die in gröfserer Tiefe erzeugten Niederschläge vermehrt werden, und stiege man also während eines Regens zu gröfserer Höhe aufwärts, so müfste man eine Abnahme der Stärke des Regens wahrnehmen. Es ist mir nicht bekannt, dafs eine solche Beobachtung wirklich gemacht worden sey, aufser zufällig durch mich selbst [1]. Ich befand mich nämlich mit einer Gesellschaft im Juli 1806 auf dem Brocken, und weil am Morgen ein so dichter Nebel fiel, dafs das Dach davon träufelte, der Wirth aber an baldigem gutem Wetter zweifelte, so entschlossen wir uns, nach Clausthal herabzusteigen. Unser Führer eilte, und wir wählten daher die gerade Richtung vom Berge herab, in der Hoffnung, den verlassenen Weg wiederzufinden, befanden uns aber am Fufse der Kuppe im stärksten Regen und bei mangelnder Aussicht ganz aufser Stande, unsere Richtung im Walde beizubehalten, weswegen wir uns zur Vermeidung gröfserer Gefahr entschlossen, wieder in die Höhe zu steigen und den rechten Weg dann nicht zu verlassen. Es war sehr überraschend, wie die Stärke des Regens von da an stets ebenso abnahm, als sie vorher zugenommen hatte, und wir fanden oben noch den nämlichen dichten Nebel, welchen wir vor etwa zwei Stunden dort verlassen hatten; nach einigen Minuten stiegen wir abermals den Berg hinab und fanden die Stärke des Regens auf gleiche Weise zunehmend, als beim ersten Herabsteigen. Die lothrechte Höhe der zurückgelegten Strecke mochte ungefähr 1000 Fufs betragen; oben war der Nebel zwar sehr stark, jedoch erkannte man keine eigentlichen Tropfen, vielmehr wurden diese erst in einer Tiefe von etwa 200 Fufs sichtbar, ganz unten war aber der Regen so stark, dafs auch dort keine einzelnen Tropfen wahrgenommen wurden, sondern zusammenhängende Wasserstrahlen herabzuströmen schienen.

Zuerst scheint Dr. Heberden [2] diesen von der Höhe abhängenden Unterschied beobachtet zu haben, indem die mo-

---

1 Die umständliche Erzählung der an sich unwichtigen Thatsachen dient zum Beweise, dafs selbst heftige Regenschauer oben in blofsen Nebel übergehn, und vermuthlich war auch damals noch etwa 1000 Fufs höher völlig heiterer Himmel.

2 Phil. Trans. LIX. p. 361.

natlichen Regenmengen sich auf der Kirche der Westminster-Abtei, auf einem Hause daneben und noch 15,5 Fuſs tiefer wie 5:8:10 verhielten, auf einem Berge in North-Wales aber auf dem Gipfel und am Fuſse binnen 4 Monaten wie 8,165:8,766. Die letztere Beobachtung ist auſserwesentlich, da zur genauen Bestimmung zwei nicht weit von einer verticalen Linie abstehende Regenmaſse erfordert werden. Nach Percival's[1] Untersuchungen haben Franklin, de Luc, Cavendish u. a. eben diese Beobachtung gemacht, indem unter andern zu Liverpool zwei Regenmesser in Höhen, welche um 16 Yards von einander verschieden waren, ohne alle fremdartigen Einflüsse nach einem Regen 13,5 und 27 Unzen Wasser, ein anderesmal beim Schnee 3 und 5 und wiederum bei windstillem Schneewetter das obere nur halb so viel als das untere gaben. Dalton[2] verglich in den Jahren 1797 und 1798 zwei Regenmesser zu Manchester, den einen 50 Yards hoch auf der Spitze des Johannisthurms, den andern nicht weit über dem Boden, und fand im Sommer das Verhältniſs 2 zu 3, im Winter 1 zu 2. Zu Penzanze[3] erhielt man während eines Jahrs am Boden 46,08 und in einer Höhe von 45 Fuſs 30,47 engl. Zoll, zu Portsmouth[4] 3 Fuſs über dem Boden 37,647 und in 23 Fuſs Höhe 35,750 engl. Zoll, und Luke Howard[5] verglich zu Plaistow vom 24. Oct. bis zum 12. Nov. 1811 zwei Regenmesser, bei denen die Höhendifferenz 43 Fuſs ausmachte, und erhielt im untern 3,73, im obern dagegen 2,82 Zoll. Eben so beweisend sind die Beobachtungen von Bugge[6], welcher ein Hyetometer auf ebener Erde und ein anderes 120 F. höher aufstellte, wovon während 4 Jahren das erstere im Mittel jährlich 27,32, das letztere 21,21 Zoll Regenwasser gab. Boase[7] erhielt in Cornwallis aus einem 45 Fuſs hoch an ei-

1 Literary, moral and medical Works. Bath 1807. T. III. u. IV. G. XXXI. 87.

2 Manchester Mem. T. V. p. 669. G. XV. 200.

3 Annals of Philos. 1822. July.

4 Philos. Magaz. 1823. Mai.

5 Nicholson Journ. of nat. Phil. 1812. Febr., daraus in Bibl Brit. und G. XLI. 417.

6 Nye Saml. af det Danske Vidensk. Selsk. Skr. T. V. p. 227. Ueber d. gröſsere Menge des Regens auf niedrigern Stellen u. s. w. übersetzt von Scheel und Degen. Kopenh. 1798. 8.

7 Ann. of Phil. N. Ser. IV. p. 19.

nem Hause angebrachten Regenmafse jährlich 30,475 engl. Zoll, aus einem andern auf ebener Erde dagegen 46,08 engl. Zoll. Das Verhältnifs ist sehr nahe wie 4:5, inzwischen habe ich hier in Heidelberg für einen gleichen Höhenunterschied nach mehrjährigen Beobachtungen ungefähr das Verhältnifs von 5:6 gefunden. Am vollständigsten ist die Thatsache durch die vieljährigen genauen Messungen in Paris begründet, woselbst zwei Regenmafse, das eine im Hofe der Sternwarte, 3 Meter über dem Boden, das andere 28 Meter höher auf der Terrasse, mit einander verglichen werden. Um ein genähertes Mittel zu erhalten, stelle ich die Resultate folgender Jahre zusammen[1]:

Jahr	1818	oben	43,197	unten	51,759	Centimeter
—	1819	—	61,524	—	68,919	—
—	1820	—	38,128	—	42,542	—
—	1821	—	58,433	—	64,567	—
—	1822	—	42,319	—	47,750	—
—	1823	—	45,679	—	41,817	—
—	1824	—	56,752	—	65,181	—
—	1825	—	46,882	—	51,933	—
—	1826	—	40,955	—	47,209	—
—	1827	—	50,098	—	57,585	—
—	1828	—	58,535	—	62,565	—
—	1829	—	55,975	—	58,889	—
—	1830	—	57,300	—	64,435	—
	Jährlich	—	50,444	—	56,55	—

welches unten ungefähr $\frac{1}{8}$ mehr giebt, als oben.

Die hiernach wohlbegründete Thatsache wird von keinem Physiker in Abrede gestellt, wohl aber die Erklärungsart derselben. Boase[2] hält es allerdings aus theoretischen Gründen für nothwendig, dafs die Regenmenge unten gröfser sey als oben, weil der Niederschlag in der Atmosphäre durch die ganze Höhe der hierbei thätigen Luftschicht statt finde, glaubt aber zugleich den sehr bedeutenden Unterschied zum Theil dem Einflusse des Windes beilegen zu müssen, Flauger-

1 Aus Ann. de Chim. et Phys. IX. 430. XII. 422. XV. 417. XVIII. 410. XXI. 390. XXIV. 427. XXVII. 398. XXX. 396. XXXIII. 401. XXXVI. 390. XXXIX. 399. XLII. 340. T. XLV, 390.

2 Ann. of Phil. N. S. IV. p. 19.

Gues[1] aber führt den ganzen Unterschied auf die Einwirkung des Winds zurück, welcher die Regentropfen seitwärts treiben und hierdurch dem Mefswerkzeuge eine geringere Menge zuführen soll, die demnach in gleichem Verhältnisse abnehmen müsse, als die Heftigkeit des Winds mit der Höhe zunimmt. Eben dieses Argument sucht Schübler[2] gleichfalls geltend zu machen, und aufserdem aus der Erfahrung zu beweisen, dafs ohne diesen Grund die Regenmengen in der Tiefe vielmehr geringer seyn müssen, weil die herabfallenden Tropfen durch Verdunstung in den untern Luftschichten an Masse kleiner werden sollen. Es gaben nämlich die Messungen im Jahre 1821 an drei Orten von ungleicher Höhe folgende Resultate[3].

1821 Monat.	Tübingen 1000 F.	Schaichhof 1576 F.	Alp Genkingen 2400 F.
Januar	203	273	253
Februar	66	89	200
März	415	533	792
April	113	261	466
Mai	317	308	535
Juni	425	198	471
Juli	473	593	688
August	564	475	624
September	459	452	736
October	100	111	123
November	128	212	188
December	249	351	437
Total	3512	3856	5513

Die letztgenannte Thatsache beweist jedoch gar nichts, da die Regenmengen an zwei verschiedenen, wenn gleich nicht weit von einander entfernten Orten merklich verschieden seyn kön-

1 Bibl. univ. T. VIII. p. 127. Ann. of Phil. T. XIV. p. 113.

2 Schweigger's Journ. N. F. IV. 380. Wiederholt VIII. 178 u. a. a. O.

3 Auf dem Schaichhof wurde im Januar nicht beobachtet, ich habe aber diese Gröfse nach der zu Tübingen erhaltenen Zahl und dem Verhältnisse beider Orte im Februar supplirt, was mindestens nahe richtig seyn wird.

nen, dagegen aber hat Arago[1] in den beiden Regenmaſsen zu Paris auch bei gänzlicher Windstille den nämlichen Unterschied beobachtet und auſserdem macht er die gegründete Bemerkung, daſs in dem Falle, wenn der Wind den Regen seitwärts treibe, ein schräger Cylinder in das Regenmaſs falle, welcher bei gleichem Flächeninhalte und bei gleicher lothrechter Höhe mit dem lothrechten gleichen Inhalt habe, so daſs also diese Ursache überall die angenommene Wirkung nicht haben könne, welchen Einwurf auch Meikle[2] gemacht hat. Arago[3] tritt dagegen der Ansicht bei, daſs die Gröſse der Regentropfen in der untern Atmosphäre an Volumen zunehmen müsse, auch wenn das Hygrometer daselbst keine absolute Feuchtigkeit zeige, weil nach den Beobachtungen von Boisgiraud diese Tropfen stets kalt sind und also den expandirten Wasserdampf anziehn. Hierdurch wird übrigens die Sache genügend erklärt, Arago[4] macht jedoch die Bemerkung, daſs dann die gröſsere Regenmenge dem mehr hygrometrischen Zustande der untern Luftschichten proportional seyn müſste. Inwiefern dieses gegründet ist, wenn es sich anders nicht bloſs auf die vermeintliche Trockenheit der obern Atmosphäre, sondern vielmehr auf den vermittelst des Hygrometers auszumittelnden Wassergehalt der Luft bezieht, müſste in einzelnen Fällen durch eine Vergleichung der Unterschiede der Regenmengen mit denen der hygrometrischen Beschaffenheit und der Temperaturen beider Luftschichten ausgemittelt werden, was jedoch bei der fortdauernden Bewegung der Atmosphäre kaum im Bereiche der Möglichkeit zu liegen scheint.

In welchem Verhältnisse die Regenmengen mit den Höhen abnehmen, ist theoretisch eben so wenig bestimmbar, als die eben erwähnte Aufgabe, auch ergiebt sich aus den wenigen mitgetheilten Erfahrungen, daſs nicht bloſs an verschiedenen Orten, sondern auch an den nämlichen, aber in verschiedenen Jahren und Jahreszeiten, ein ungleiches Verhältniſs statt findet. Dürfte man die Unterschiede der Regenmen-

1 Ann. Chim. et Phys. XVIII. 410.
2 Ann. of Philos. T. XIV. p. 212.
3 Ann. Ch. Phys. XXXIII. 417.
4 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 399.

gen den Höhen direct proportional annehmen, so liefse sich aus dem für Paris gefundenen Verhältnisse, wonach 28 Meter ungefähr $\frac{1}{9}$ geben, die Folgerung ableiten, dafs die mittlere Höhe der Regenwolken etwa $9 \times 28 = 252$ Meter oder 760 Fufs betrüge, eine interessante, jedoch zu wenig begründete Folgerung, die auf jeden Fall keine allgemeine Anwendung leidet; denn unter andern fand v. HUMBOLDT[1] aus einer Vergleichung der Regenmengen zu Guayaquil an den Küsten der Südsee und zu Quito auf einer Höhe von 1492 Toisen, dafs dieselbe am letztern Orte nur ungefähr den dritten Theil so viel als am erstern betrug.

Die Unterschiede sind jedoch auch in den verschiedenen Monaten nicht gleich. KÄMTZ[2] stellt die pariser Beobachtungen von 1818 bis 1826 zusammen und findet hieraus für die einzelnen Monate

Monat.	Terrasse	Hof.	Unters.	Monat.	Terrasse	Hof.	Unters.
Jan.	3,018	3,622	0,167	Juli	3,625	3,825	0,052
Febr.	3,056	3,757	0,187	August	3,893	4,192	0,071
März	3,662	4,383	0,164	Sept.	4,786	5,097	0,061
April	3,762	4,165	0,097	October	4,617	5,405	0,146
Mai	6,188	6,756	0,034	Nov.	3,993	4,871	0,180
Juni	3,894	4,150	0,061	Dec.	3,903	4,601	0,152

Hieraus ergiebt sich, dafs für Paris das Verhältnifs der Unterschiede im Sommer geringer ist, als im Winter, worauf sich die bereits erwähnte Bemerkung von ARAGO bezieht, dafs in Folge der im Sommer herrschenden gröfsern Wärme und des hierdurch bedingten hygrometrischen Zustands der Atmosphäre gerade das Gegentheil statt finden müsse. Dennoch aber ist die bereits angegebene Ursache, nämlich dafs die herabfallenden kalten Tropfen den aus den untern Luftschichten niedergeschlagenen Wasserdampf aufnehmen, die einzige, auf welche die Erklärung des Phänomens gegründet werden mufs, wie HAMILTON[3] zuerst annahm, wobei jedoch die gleichzeitig mitwirkenden sonstigen Bedingungen nicht übersehn werden dürfen. Es kommt nämlich sehr auf den hygrometrischen Zustand der untern Luftschichten an, da sich

1 Reisen. D. Ueb. Th. IV. S. 301.
2 Meteorologie u. s. w. Th. I. S. 418.
3 Phil. Trans. 1765. p. 163.

ein Grad der Trocknifs bei diesen annehmen läfst, vermöge dessen sie allerdings den hindurchfallenden Tropfen Wasser durch Verdunstung entziehn, und wirklich behauptet Dr. Copland[1] diesem gemäfs wahrgenommen zu haben, dafs es ein Vorzeichen bald wiederkehender Heiterkeit sey, wenn das untere Regenmafs sogar weniger Wasser enthalte, als das obere. Hiernach fällt dann auch der anscheinende Widerspruch von selbst weg, welcher aus dem in die Wintermonate fallenden gröfsern Verhältnisse der Differenzen beider Regenmengen zu Paris zu folgen scheint, denn auch die absoluten Regenmengen sind dort, mit Ausnahme des einzigen Monats Mai, im Sommer kaum gröfser als im Winter, was auf einen geringen Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre in der erstern Jahreszeit deutet, und dieser letztere führt dann wieder auf die zur Begründung der Theorie des Hagels bereits gemachte Bemerkung, dafs im Sommer die über dem Erdboden stärker erhitzten Luftschichten nach pneumatischen Gesetzen schneller und höher aufsteigen müssen, die demnach den Wasserdampf fortführen, so dafs der gerade in der Umgegend von Paris so leicht stark austrocknende Boden den untersten Luftschichten keinen bedeutenden Grad der Feuchtigkeit mehr mittheilen kann.

d) Einflufs der geographischen Breite auf die Regenmenge.

Wird der Regen als ein Niederschlag des in der Atmosphäre befindlichen Wasserdampfs betrachtet, so mufs er so viel reichlicher seyn, je dichter der letztere ist, und da die Dichtigkeit des Wasserdampfs blofs von der Temperatur abhängt, sobald Wasser genug zu seiner Bildung vorhanden ist, so mufs die Regenmenge in einem gewissen Verhältnisse mit der gröfsern Wärme der verschiedenen Orte wachsen. Die zum Messen dienenden Werkzeuge geben jedoch nicht blofs das als wirklicher Regen herabfallende Wasser an, sondern auch das in gefrornem Zustande aufgenommene, und auch dieses bringt man mit in Rechnung, wenn es sich um die Bestimmung der Regenmenge an irgend einem Orte handelt; in-

1 G. XXXI. 92.

zwischen findet die aufgestellte Regel auch in Beziehung auf das Product der gesammten Hydrometeore statt. Ist dagegen blofs vom Regen die Rede, so ist nicht leicht anzugeben, unter welchen höhern Breiten derselbe ganz fehlt, jedoch wird man die Grenze desselben annähernd etwas über die Isotherme von — 5° C. setzen können; denn wenn auch unter den dieser zugehörigen Breiten an mehrern Tagen die Temperatur über den Gefrierpunct des Wassers hinausgeht, so ist dieses doch selten oder nie bei trübem Wetter der Fall. Dafs die Grenze des wirklichen Regens noch über die genannte Isotherme hinausgehe, beweist eine Beobachtung von PARRY[1], welcher am 8. Aug. 1827 unter 82° N. B. einen anhaltenden Regen von 36 Stunden und darunter 24 Stunden bedeutend stark erlebte. Dort reicht indefs die Isotherme von — 5° bis zum 80sten Grade N. B.

Bei den Untersuchungen der Regenverhältnisse unter ungleichen geographischen Breiten kommt insbesondere der Unterschied der periodischen und der unregelmäfsigen Regen in Betrachtung. In den nördlicher gelegenen Gegenden sind die Regen im Allgemeinen an keine bestimmte Zeit gebunden und es giebt auf gleiche Weise willkürlich wechselnde nasse als trockne Monate, indem es dem Anschein nach regellos bald mehr bald weniger regnet und in längern oder kürzern Zwischenzeiten wieder grofse Trockenheit eintritt. Zwar pflegen zur Zeit der Nachtgleichen länger anhaltende sogenannte Landregen zu herrschen, deren Dauer man auf 24 oder 36, selbst 48 Stunden und darüber, annehmen kann, statt dafs im Sommer kürzere, aber zugleich weit stärkere Gewitterschauer gewöhnlich sind, dessenungeachtet aber giebt es in allen Monaten anhaltende Regen, die mit einer länger oder kürzer dauernden Trockenheit abwechseln. Ungleich gröfsere Regelmäfsigkeit, an manchen Orten eine unwandelbar bestimmte und nur seltene Ausnahmen erleidend, herrscht unter der äquatorischen Zone. Sind gleich unsere Kenntnisse hierüber nur höchst mangelhaft, so lassen sich doch folgende Bestimmungen als aus den Beobachtungen entnommen ansehn.

Zuvörderst giebt es einige Gegenden, wo es gar nicht

---

1 Account of an attempt to reach the North-Pole cet. Lond. 1828. 4. p. 115.

regnet. In Aegypten gehört das Regnen so sehr unter die Seltenheiten, dafs schon nach HERODOT's Zeugnisse diese Erscheinung, wenn sie zufällig einmal statt fand, besonders aufgezeichnet zu werden pflegte. Zu Ambukol, unfern Dongola in Aegypten, fanden 1823, und 1824 ungefähr eben so, nur 5 Regenschauer statt[1], in Tatta am östlichen Ufer des Indus fiel drei Jahre hindurch kein Regen[2], auf den canarischen Inseln fehlt er oft zwei Jahre hindurch gänzlich[3], zum Beweise, dafs sich die eigentlichen tropischen Regen bis dorthin nicht erstrecken oder dafs sie mindestens dort durch eigenthümliche Luftströmungen aufgehoben werden. Auch Syrien galt von jeher für sehr trocken[4], eben so fehlt der Regen gänzlich in Fezzan[5] und in Lima ist die Erscheinung völlig unbekannt[6]. Auch zu Cumana, La Guayra und auf der benachbarten Margarethen-Insel fallen blofs im October und November einige Regentropfen[7]. In Cumana erhält man oft neun Monate lang vom December bis zum September keine zwei Zoll hoch Regenwasser, gleiche Trocknifs herrscht zu Punta-Araya, und selbst in der brasilischen Provinz Ciara fällt zuweilen mehrere Jahre lang, z. B. 1792 bis 1796, gar kein Regen[8]. Auf dem Küstenstriche von Peru regnet es überall niemals und blofs einige Zeit im Jahre ist die Sonne blafs durch Dünste[9].

In den meisten Gegenden der äquatorischen Zone zerfällt das Jahr in zwei Abschnitte, die Regenzeit und die Zeit der gänzlichen Dürre. So bekannt dieses im Allgemeinen ist, so besitzen wir dennoch nur von wenigen Orten eine genaue Beschreibung des eigenthümlichen Charakters der Regenzeit und des gesammten Verhaltens der periodischen tropischen Regen, und v. HUMBOLDT[10] war auch in diesem Stücke der erste,

---

1 RÜPPEL Reise. S. 75.
2 KÄMTZ Meteorol. I. 428.
3 L. v. BUCH in Berlin. Denkschr. 1820 u. 21. S. 108.
4 Herodot. I. c. 193. Vergl. II. c. 25.
5 Proceedings of the Soc. for prom. geogr. Kn. T. I. 93.
6 Azara Reisen. D. Ueb. S. 12.
7 V. Humboldt Reis. D. Ueb. III. 348.
8 Ebend. Th. V. S. 717.
9 Ebend. Th. IV. S. 301.
10 Ebend. D. Ueb. Th. III. S. 346 ff. Ausführlicher in Ann. Chim. et Phys. VIII. 179. Daraus in Schweigger's Journ. XXIV. 71.

welcher genauere Nachrichten hierüber mittheilte. Die Indianer bezeichnen die beiden Abtheilungen des Jahrs durch den Ausdruck: *Sonne* und *Regen*. Der Uebergang beider Perioden ist nicht zufällig, sondern zeigt, wie das ganze meteorologische Verhalten in der Aequinoctialzone, eine bewundernswürdige Regelmäſsigkeit. Im americanischen Binnenlande östlich von den Cordilleren von Merida und Neu-Granada, in den Llanos von Venezuela und vom Rio Meta, vom 4. bis 10. Grade N. B. ist der Himmel vom December bis Februar so vollkommen heiter, daſs auch das geringste Wölkchen die gröſste Aufmerksamkeit der Bewohner erregt. Gegen Anfang März zeigt sich der Himmel minder dunkel, die Sterne erscheinen weniger hell und hygroskopische Substanzen zeigen Spuren gröſserer Feuchtigkeit der Atmosphäre, der beständige NO.-Wind (die *Brise*) wird durch Windstillen unterbrochen und es sammeln sich Wolken in SSO., die sich zuweilen vom Horizonte loszureiſsen scheinen und dann mit unglaublicher, der schwachen Bewegung der untern Luftschichten keineswegs angemessener Geschwindigkeit die obern Regionen des Himmels durchlaufen. Am Ende des März gewahrt man zuweilen gen Süden kleine elektrische Explosionen, wie phosphorische, auf eine einzige Dunstgruppe beschränkte Funken, es treten mehrere Stunden anhaltende West- und Süd-West-Winde ein und diese sind sichere Vorzeichen der beginnenden Regenzeit, die am Oronoko gegen Ende Aprils anfängt. Gleichzeitig erreicht die Hitze den höchsten Grad, die Luftelektricität, die sonst regelmäſsig positiv zu seyn pflegt, verschwindet und geht zuweilen in negative über und täglich herrschen Gewitter von den heftigsten Regengüssen begleitet. Es ist jedoch ein falsches Vorurtheil, wenn man glaubt, diese Regen dauerten ganze Tage oder Wochen ohne Unterbrechung, vielmehr vergeht kaum oder nie ein Tag, wo nicht die Sonne wieder hervorkommt und die Hitze bei gröſster Feuchtigkeit der Luft einen unausstehlichen Grad erreicht. In der angegebenen Gegend erfolgt das Aufsteigen der Gewitter in der Regel zwei Stunden nach Mittag, höchst selten hört man den Donner am Morgen oder während der Nacht und

---

Allgemeine Angaben über die starken periodischen Regen finden sich allerdings in vielen, auch älteren Reisebeschreibungen.

Nachtgewitter sind nur gewissen Flufsthälern eigen, die ein besonderes Klima haben; ebenso hört auch der Regen gegen Abend auf, da er gleich nach dem Anfange der Gewitter die gröfste Heftigkeit erreicht. Gleichzeitig hören die regelmäfsigen NO.-Winde auf oder wechseln mit den SW.- oder SO.-Winden, *Bendavales*, die in einigen Gegenden sich als heftige Stürme zeigen.

Der hier angegebene Charakter ist im Allgemeinen den periodischen Regen eigenthümlich, die mit einigen Verschiedenheiten auf beiden Seiten des Aequators bis zu den Wendekreisen herrschen[1]. In der Bai von Biafra unterhalb des Caps Formosa fängt die Periode der heftigen Stürme, der *Tornado's*, schon in der ersten Hälfte des Februar an und endigt in der Mitte des März, worauf die Regenzeit beginnt, die bis zur Mitte des Mai fortdauert. Auf diese folgen Nebel, bis ans Ende des Monats, die jedoch minder dicht sind, als in der Bai von Benin, es tritt dann heiteres Wetter ein, dauert bis zur Mitte Septembers blofs durch leichte Nebel unterbrochen fort, worauf dann die zweite, ungleich heftigere, Regenzeit anfängt, die bis Ende Octobers dauert. Nach dieser fängt wieder heiteres Wetter an, dort die schönste und angenehmste Jahreszeit, bis zum Wiederanfange der Frühlings-Tornado's, die zwar eigentlich der Regenzeit vorangehn, nicht selten aber während ihrer ganzen Dauer herrschen[2].

Uebereinstimmend hiermit beschreibt Christie[3] die periodischen Regen in Darwar. Dort ist der SW.-Wind die herrschende Brise, aber die Regenwolken werden durch östliche Winde herbeigetrieben. Einige heftige Gewitter, ausgezeichnet durch die Stärke der elektrischen Explosionen, fallen zwar schon in den April und Mai, aber die eigentlichen periodischen Regen beginnen erst im Juni oder im Anfange des Juli. Dann wehn die südwestlichen regelmäfsigen Winde zwar Vormittags, allein zwischen drei und fünf Uhr Nachmittags thürmen sich im Osten dunkle Wolken auf, bewegen sich unablässig

1 Condamine Journal d'un Voyage à l'Équateur. Par. 1751.

2 Ann. of Phil. 1823. Mai. p. 360. Vergl. Art. *Klima*. Bd. V. S. 871.

3 Edinb. New Phil. Journ. N. X. p. 300.

dem Winde entgegen, überziehn den Himmel mit einer dichten schwarzen Masse, werden von häufigen Blitzen durchfurcht und erst, wenn sie ganz nahe gekommen sind, setzt sich der Wind plötzlich nach O. um und treibt die Wolken herbei, die dann ihr Wasser, oft mit Hagel vermischt, ausschütten. Der Wind wird demnächst veränderlich, bläst aus allen Richtungen, endlich gewinnt der westliche wieder die Oberhand und das heitere Wetter kehrt mit ihm zurück.

Die tropischen Regen unterscheiden sich also von den unregelmäſsigen unter höhern Breiten vornehmlich durch ihren periodischen Wechsel, indem sie jährlich zu bestimmten Zeiten wiederkehren, und zwar geht aus den mitgetheilten Angaben schon hervor, daſs sie nur einmal in jedem Jahre, oder auch zweimal eintreten, in welcher Beziehung als Regel anzunehmen ist, daſs sie unter dem Aequator zweimal im Jahre, an der Grenze der Wendekreise nur einmal wiederkehren, zwischen diesen beiden Grenzen aber allmälig aus einer doppelten zu einer einfachen Periode übergehn. Ein hauptsächlicher Unterschied derselben zeigt sich ferner darin, daſs sie in der Regel nur bei Tage statt finden, indem die Sonne meistens heiter auf- und untergeht[1]; auch geben sie im Ganzen eine bei weitem stärkere Regenmenge, als diese unter mittlern und höhern Breiten zu seyn pflegt, obgleich aus den bereits mitgetheilten Thatsachen hervorgeht, daſs ausnahmsweise auch an Orten der gemäſsigten Zone die Regenmengen während einer kürzern Zeit gröſser sind, als die gewöhnlichen in den Tropenländern. Eine gröſsere Gewalt der begleitenden Stürme, als derjenigen, die unter mittlern und höhern Breiten mit schweren Gewittern verbunden zu seyn pflegen, läſst sich wohl nicht als Regel annehmen, jedoch übersteigen sie ausnahmsweise alles dasjenige, was die Erfahrung in unsern Gegenden hierüber darbietet. Beispiele solcher Orkane werden bei der Untersuchung der Winde vorkommen, in Beziehung auf die Regenmengen aber betrug nach Tuckey[2] die Höhe des am 12. Mai 1816 unter 2° 30′ N. B. auf sein Schiff fallenden Wassers während 3 Stunden 3 Z. 1 Lin. Viele sonstige Angaben

---

1 Spix und Martius Reise. Th. I. S. 74. Durch Kämtz erwähnt in seiner Meteorologie Th. I. S. 424.

2 Ann. Ch. et Phys. XXVII. 407.

lassen auf gleiche und mitunter noch gröfsere Mengen schliefsen, jedoch fehlen dabei die eigentlichen Messungen.

Der angegebene allgemeine Charakter der periodischen Regen, nämlich dafs ihnen leichte Wolken und Nebel vorausgehn und dafs sie mit einer Aenderung des sonst beständigen Winds beginnen, zeigt sich überall. Am Südrande der Sahara und an der Küste Sierra-Leona geht der NO.-Wind in SW. über[1] und es erfolgt blofs eine kurze Unterbrechung der Regen, wenn N.- oder W.-Wind eintritt[2]. Eben so läfst sich als Regel annehmen, dafs die periodischen Regen dann anfangen, wenn die Sonne in den Parallelkreis des Beobachtungsorts eintritt, woraus dann zugleich die Bestimmung der einfachen oder doppelten Periode und des Anfangs der Regenzeit folgt. In Africa unter dem Aequator bis zur Goldküste beginnt sie daher nach der oben mitgetheilten Angabe schon in der Mitte des März; ebenso in der Gegend der Bai von Benin und am Cap St. Paul; von der Sierra-Leona bis Cap Apollonia, wo die Regen sich durch ihre Heftigkeit vorzüglich auszeichnen, in der Mitte Aprils[3], in Guinea Anfang Mais[4]; an der Sierra-Leona-Küste im Mai[5], am Senegal oder überhaupt von 12° N. B. bis zum Wendekreise im Anfange des Monats Juni[6], in Dar-Fur um die Mitte dieses Monats[7], ebenso auf dem nördlichen Theile der Mandingo-Terrasse nach Mungo-Park[8], statt dafs sie in Bornu schon in der Mitte des Mai[9] und in Gondar selbst in den ersten Tagen des März[10] anfängt. In Calcutta beginnt die Regenzeit mit Anfang des Juni, in Luknow um die Mitte dieses Monats[11], auf Java aber im October, wird anhaltender im

---

1 Mungo Park Travels p. 147. Denham Narrative. p. 207. Browne Travels p. 231.

2 Proceedings. I. p. 199.

3 Marwood Kelly in Ann. of Phil. 1823. Mai. p. 360.

4 Mollien Voyage dans l'Intérieur de l'Afrique. Par. 1820. II vol. 8.

5 Winterbottom Nachrichten von d. Sierra-Leona-Küste. S. 35. Nach Kämtz Meteorologie I. 425.

6 Golberry Fragmens cet. T. I. p. 225.

7 Browne Travels p. 254.

8 Travels p. 167.

9 Denham Narrative. p. 197. 314.

10 Bruce Reis. Th. III. S. 663.

11 Valentia Reise. I. 175.

November und December und hört allmälig bis zum März hin auf[1]. Wenn aber die Reisenden vom Anfange und vom Ende der Regenzeit reden, so ist hierunter oft der Anfang der ersten und das Ende der letzten beider Regenperioden zu verstehn. Uebrigens wird hieraus erklärlich, warum die Verzeichnisse der Regenmengen an Orten der Aequinoctialzone nur einige Monate umfassen, dann aber dennoch für ganzjährliche dienen.

Aus den mitgetheilten Betrachtungen geht hervor, dafs die periodischen Regen durch den Stand der Sonne bedingt werden, und hieraus würde also folgen, dafs die Wendekreise auf beiden Seiten der heifsen Zone ihre Grenze bildeten, wenn die angegebne Ursache die einzige dabei wirksame wäre; weil aber noch andere demnächst zu erwähnende Ursachen von wesentlichem Einflusse sind, so erstrecken sie sich in verschiedenen Gegenden bis zu ungleichen Breitengraden, und wechseln an den einzelnen Orten mit mehr oder minder vollständiger Trockenheit, bis sie zuletzt in die zu bestimmten Zeiten mit einiger Regelmäfsigkeit wiederkehrenden starken Regengüsse übergehn, dabei aber ihren eigentlichen Charakter allmälig verlieren. An den so eben angegebenen Orten sind die nassen Jahreszeiten von den trocknen scharf geschieden, dasselbe ist der Fall zu Bombay, wo nach einem zehnjährigen Register die Regenzeit blofs vom Juni bis zum October dauert und wo es namentlich im Jahre 1827 vom 9. Juni bis zum 20. Sept. mit Ausnahme des 11. und 30. Juni, des 1. und 27. Juli täglich regnete[2]. An der Goldküste dauert die Regenzeit vom Mai bis August, während welcher Zeit die Tornado's zuweilen wehn, und dann folgt noch im November eine kleine Regenzeit, übrigens aber herrscht vollkommene Dürre[3]. In der Sahara[4] erstrecken sich die periodischen Regen nur bis zum 16. Grade N. B., in Beheda zeigen sie sich noch unter 17° N. B. mit ziemlicher Regelmäfsigkeit[5], in Nubien[6] reichen sie bis zum 19. Grade N. B., zu Bancoorah in Bengalen aber,

1 Raffles History of Java. T. I. p. 30.
2 Edinb. Journ. of Science. XIX. 141.
3 Monrad Gemälde der Küste von Guinea. Weim. 1824. 8.
4 Bruce Reisen. I. 264.
5 Rüppel Reise. S. 99.
6 Ehrenberg in Poggendorff Ann. XV. 360.

ungefähr unter dem Wendekreise, erhielt G. MACHITCHIE[1] im Juni über 7, im Juli über 8, im August über 5, im September über 7, im October 3, im März gar keinen, im Jan., Febr., April und Mai im Ganzen nur etwas über 0,5 Zoll Regenwasser.

Dafs der periodische Charakter der Regen bei zunehmender geographischer Breite allmälig schwinden müsse, versteht sich von selbst, und daher finden wir ihn in diesem verminderten Grade noch zu Funchal auf der Insel Madeira. Hier erhielt HEINEKEN[2] im Jahre 1827 im Januar 2,86, im Febr. 2,62, im März gar keinen, im April 2,19, im Mai keinen, im Juni 0,16, im Juli und August keinen, im Sept. 0,15, im Oct. 3,24, im November 6,95 Zoll und im Dec. wieder gar keinen Regen. Im Jahre 1828 aber erhielt er im Januar 4,08, im Februar 1,64, im März 1,68, im April 3,85, im Mai 2,14, im Juni 0,21, im Juli nur 0,1 und im August gar keinen, im September 1,39, im October keinen, im November 2,56 und im December wieder nur 0,52 Zoll. Der Regen hat demnach eine Frühlings- und eine stärkere Herbst-Periode, im Ganzen ist aber seine Menge nicht bedeutend, wie aus den später namhaft zu machenden Bedingungen leicht erklärlich wird, und eben so wechselnd, als vielleicht überall auf der ganzen Erdoberfläche, denn das Jahr 1825 gab nur 20,43 Z., das Jahr 1826 dagegen 43,35 Z., das genannte Jahr 1827 aber 18,17 Z. und 1828 nur 17,67 Zoll, also im Mittel aus allen vieren 24,9 Zoll. Ein ganz ähnliches Verhalten treffen wir auf der südlichen Halbkugel unter fast ganz gleicher Breite (33° 48′ S. B.) zu Paramatta in Neu-Süd-Wales, wenn anders die nur ein Jahr umfassenden Beobachtungen BRISBANE's[3] als genügende Grundlage dieser Behauptung dienen können. Auch dort fiel in den Monaten Mai, Juni, Juli und August des Jahrs 1822 gar kein Regen, der September bleibt unerwähnt, dann aber im October 3,413, im November 0,516, im December 5,235, dann im Januar des folgenden Jahrs 1,092, im Februar 5,261, im März 6,660, im April 7,215 und im Mai 0,556 engl. Zoll, also im Ganzen 29,948 englische oder 28,1 französische Zoll.

1 Edinb. New Phil. Journ. N. XXVIII. 230.
2 Edinb. Journ. of Sc. N. XIX. p. 73. New Ser. N. I. p. 34.
3 Edinb. Phil. Journ. N. XXI. p. 119.

Auf jeden Fall folgt aus diesen Beobachtungen die auch dort noch statt findende Periodicität der Regen, welche mehrere Monate gänzlich fehlen, dann aber zweimal zu einem Maximum wachsen, einmal im December, dem dortigen Sommer, und dann wieder nach den dortigen Herbstnachtgleichen. Wenn ferner das Fehlen des Septembers keine Aenderung erzeugt, so wäre auch dort die ganzjährliche Regenmenge nicht bedeutend grofs.

Dr. Anderson[1] hat versucht, ein allgemeines Gesetz über die Regenmengen unter den verschiedenen Polhöhen aufzustellen, indem er blofs die Temperatur und die dieser angemessene Dichtigkeit des Dampfs als bedingend betrachtet. Hiernach sollen folgende Breitengrade und Regenhöhen in englischen Zollen einander zugehören:

Breite	Regen	Breite	Regen	Breite	Regen	Breite	Regen
0°	73,17	25	53,12	50	25,36	75	13,16
5	71,39	30	46,77	55	21,72	80	12,24
10	68,72	35	40,50	60	18,69	85	11,72
15	64,47	40	34,92	65	16,32	90	11,55
20	59,11	45	29,79	70	14,49		

Allein selbst nahe liegende Orte zeigen so bedeutende Unterschiede ihrer Regenmengen und so auffallende Abweichungen von den hier angegebenen Bestimmungen, dafs es sich nicht der Mühe lohnt, die Allgemeinheit der von Anderson angenommenen Regel zu widerlegen, da ohnehin das derselben zum Grunde liegende Gesetz durch zahllose anderweitige Bedingungen ausnehmend modificirt wird. Um jedoch auch hier speciell einige Beispiele zu erwähnen, welche die Ungleichheit der Regenmengen an sehr nahe liegenden Orten evident beweisen, mögen die folgenden genügen. Zu Paris betrug die Regenmenge im Jahre 1825 nur 51,93 Centim., in Versailles dagegen 57,65 Cent., im folgenden Jahre aber am ersten Orte 47,21 Cent., am letztern dagegen 46,15 Cent., so dafs also die Unterschiede sogar wechseln, jedoch mit einem Uebergewichte für Versailles, wo es der gemeinen Meinung nach auch mehr regnen soll[2]. Die mittlere Regenmenge zu Glasgow betrug in den Jahren 1815 bis 1817 nur 22,854 engl. Zoll, zu

1 Edinburgh Encyclopaedia. T. XI. 597. T. XVI. 514.
2 Ann. de Ch. et Phys. XXXVI. 415.

Corbeth dagegen, welches nur 12 engl. Meilen davon entfernt, aber 466,5 Fuſs über dem Clyde bei Glasgow liegt, betrug sie in den nämlichen Jahren 41,649 engl. Zoll[1]. Noch viele andere Beispiele dieser Art sind aus der unten mitzutheilenden Tabelle der verschiedenen Regenmengen zu entnehmen.

Die Ursachen der periodischen Regen sind zwar die nämlichen, als welche die gewöhnlichen erzeugen, aber ihre regelmäſsige Wiederkehr beruht auf eigenthümlichen Bedingungen, die allgemein wirksam sind, sofern sie nicht durch anderweitige Nebenumstände modificirt werden. Die bedeutend groſse und verhältniſsmäſsig weniger wechselnde Höhe der Sonne, deren unmittelbare Folge eine geringere Verschiedenheit der Tageslängen ist, verursacht eine mehr gleichbleibende Wärme und erzeugt neben andern mitwirkenden Ursachen den regelmäſsigen Passatwind; das Gleichgewicht der verschiednen über einander befindlichen Luftschichten wird weniger gestört und hierauf beruht die Unveränderlichkeit des Barometerstands und die Regelmäſsigkeit der täglichen Schwankungen. Auch unter höhern Breiten herrscht mitunter Monate lang Dürre, wenn die Richtung des Winds sich nicht ändert. Bliebe die Höhe der Sonne in der äquatorischen Zone stets unverändert, so würde die stete Dauer des Passatwinds allen Regen verscheuchen. Vermöge der gröſsern Hitze steigen nämlich die erwärmten Luftschichten in die Höhe, die minder heiſsen, von den gemäſsigten Zonen herbeiströmenden werden nicht abgekühlt und können daher auch keinen Niederschlag fallen lassen. Nähert sich aber die Sonne dem Zenith, so steigt wegen der vermehrten Tageslänge bei gröſserer Feuchtigkeit des Bodens die Wärme in denjenigen Gegenden, welche die Grenze der äquatorischen und gemäſsigten Zone bilden, und die von ihnen herbeiflieſsenden Luftmassen entladen sich daher durch Abkühlung ihres übergroſsen Wassergehalts, wobei noch insbesondere das durch Dove[2] nachgewiesene Gesetz Berücksichtigung verdient, daſs die kältern herbeiströmenden Luftmassen die wärmern zurückdrängen und gleichsam aufrollen, die letztern aber bei ihrem Andrange gegen die erstern sich über diese hinwälzen. Dieses ist ungefähr die Erklärung, wel-

1 Ann. of Phil. XII. 377.
2 S. unten: *Einfluſs der Winde.*

che AL. VON HUMBOLDT[1] von diesem merkwürdigen Phänomene aufgestellt hat, und mit Recht zieht er einen ursächlichen Einfluſs der gleichzeitig veränderten Luftelektricität in Zweifel, da die Disposition zu Gewittern vielmehr als Folge der Niederschläge zu betrachten ist. Um jedoch die Sache noch klarer zu überblicken, muſs zugleich berücksichtigt werden, daſs die periodischen Regenzeiten im Allgemeinen nie aufhören, sondern genau genommen bloſs von der einen Grenze der äquatorischen Zone zur andern übergehn und dann wieder zurückkehren. Denken wir also dieselbe an irgend einem Orte, z. B. unter 18 oder 19 Grad N. B. existirend, so dauert sie so lange fort, als die Luft dieser Gegenden übermäſsig erhitzt und gleichzeitig mit Dämpfen von den so eben durch die stärksten Regengüsse befeuchteten Strecken überladen ist; die Niederschläge werden häufiger, wie überall dann der Fall zu seyn pflegt, wenn sie einmal begonnen haben und dadurch das Gleichgewicht der Luftschichten unter einander gestört ist. Dieser Zustand dauert fort, während die Sonne den Wendekreis erreicht und von demselben wieder zurückkehrt. So wie dieses geschieht, nimmt die Tageslänge ab, die Temperatur wird geringer, die Strömungen von der nördlichen Halbkugel her gewinnen an Stärke, so daſs ihnen die südlichen nicht mehr widerstehn können, die eindringenden Luftmassen werden nicht mehr abgekühlt, um ihren Dampfgehalt abzusetzen, demnach beginnen die regelmäſsigen Winde und in Folge derselben die Heiterkeit der Atmosphäre wieder, die periodischen Regen dagegen wandern südlich unter dem Aequator hin, gelangen bis in die Gegenden des südlichen Wendekreises, und so wechseln die Perioden des Regnens und der Trocknifs mit der nothwendig bedingten, der Erfahrung gemäſsen Regelmäſsigkeit.

Die Richtigkeit dieser Ansicht über ein eben so interessantes als bisher noch keineswegs vollständig erklärtes Phänomen scheint mir insbesondere durch einige wichtige Thatsachen begründet, deren Kenntniſs wir der genauen Beobachtungsgabe des AL. v. HUMBOLDT verdanken. Zuerst beginnen die Regenzeiten schon früher, als die Sonne das Zenith des Beobachters erreicht, zum Beweise, daſs die von derjenigen

---

1 Reisen. D. Ueb. Th. III. S. 350.

Halbkugel herbeiströmenden Luftmassen, von welcher die Sonne sich entfernt, die Regenwolken vor sich hertreiben, zweitens aber bemerkt v. Humboldt ausdrücklich, dafs unter 8 bis 10 Grad N. B. vor der Regenzeit NO.-Wind herrschte, aber vor dem Wechsel desselben schon leichte Wolken mit unglaublicher Schnelligkeit in den höhern Regionen über jene Gegenden in südlicher Richtung weggetrieben wurden. Der Wind folgt also gleichsam dem Gange der periodischen Regen oder richtiger er treibt dieselben vor sich her. Schwerlich wird man hiergegen das Argument geltend zu machen sich veranlafst fühlen, dafs diesemnach die Grenze der periodischen Regen sich über die Wendekreise hinaus erstrecken müfste. Zuvörderst bezweifle ich nicht, dafs eine gewisse Periodicität der Regen und der damit abwechselnden Dürre allerdings bis zu dieser Grenze reicht, ja sogar mit abnehmender Regelmäfsigkeit und geringerer Schärfe der Trennung noch darüber hinausgeht, daneben aber versteht sich von selbst, dafs der eigenthümliche Charakter dieser Processe um so mehr sich verlieren müsse, je näher sie denjenigen Gegenden kommen, wo sie überall nicht statt finden können, abgerechnet, dafs anderweitige örtliche Bedingungen sie modificiren. Kämtz[1] folgert daher mit Recht, dafs die Periodicität der Regen noch in Portugal bemerkbar ist und blofs durch die Pyrenäen gehindert wird, sich noch weiter nördlich zu zeigen, in Italien aber mufs wohl der Nähe des mittelländischen Meers ein zu bedeutender Einflufs auf die meteorologischen Verhältnisse zugeschrieben werden, als dafs daselbst eine auffallende Periodicität der Regen statt finden könnte.

c) Oertliche Bedingungen der Regenmengen.

Die Regenmengen haben zwar im Allgemeinen ihr Maximum unter dem Aequator und nehmen von hier an nach beiden Polen hin ab, bis sie endlich ihr Minimum erreichen oder vielleicht ganz aufhören, wenn in den Puncten der gröfsten Kälte der Dampfgehalt der Luft so gering wird, dafs die nicht bedeutenden Veränderungen der Temperaturen keinen

1 Meteorologie I. 433.

Niederschlag mehr zu erzeugen vermögen, allein es kommen noch so viele anderweitige Bedingungen hinzu, daſs keineswegs an allen Orten der äquatorischen Zone die gröſsten Quantitäten des hydrometeorischen Wassers angetroffen werden, indem es ja unter andern in Lima gar nicht regnet, und daſs sie ebensowenig überall unter gleichen Parallelen auch nur in einem genäherten Verhältnisse einander gleichkommen. Diese örtlichen Einflüsse sind übrigens zahlreich und oft auf so geringe Strecken beschränkt, zugleich aber so wirksam, daſs es unmöglich seyn würde, auf eine gleiche Weise isohydrometrische Linien zu construiren, als dieses für die Wärme in den isothermischen geschehn ist. Die wesentlichsten derselben sind folgende:

1) Die Nachbarschaft des Meers, groſser Seen und breiter Ströme, welche der Verdunstung stets neues Material darbieten und somit die Luft unaufhörlich im Zustande gröſserer Feuchtigkeit erhalten. Der Einfluſs dieser Ursache ist allgemein bekannt und ihre Wirksamkeit so bedeutend, daſs die darüber bekannten Thatsachen wahrhaft Erstaunen erregen müssen, weswegen es jedoch zugleich zur Begründung des Gesetzes nur weniger Beispiele bedarf. Aus dieser Ursache sind die Regenmengen an den Meeresküsten ungleich gröſser, als im Binnenlande, England hat gröſsere, als seiner nördlichen Lage zukommen, und zu Leedhills an der Westküste Schottlands wurden im Mittel aus 6 Jahren bloſs in den sieben Monaten von April bis October 32,21 engl. Zoll gemessen[1], zu Liverpool und Edinburg sind sie gröſser als in Bristol und London, zu Breda und Zwanenburg gröſser als in Regensburg und Ofen, in der Umgegend des Orinoko und Amazonenflusses gröſser als in den Llanos von Caracas. Ein Ueberblick der demnächst mitzutheilenden Regenmengen an den verschiedensten Orten der Erde gewährt so viele und so sprechende Beweise für diese Behauptung, daſs es mir überflüssig scheint, hier noch mehr Beispiele anzuführen.

2) Der gebirgige und waldige Charakter einer Gegend trägt ungemein viel zur Vermehrung der Regenmengen bei. Der Einfluſs ausgedehnter Waldstrecken ist so bekannt und

1 Edinb. Phil. Journ. N. IX. p. 219.

durch MOREAU DE JONNES[1] an so zahlreichen Beispielen nachgewiesen, daſs es mir überflüssig scheint, hierauf weiter einzugehn, um so mehr, als dieser Gegenstand bereits erörtert worden ist[2]. Gleichfalls als bekannt darf ich voraussetzen, daſs die Thäler zwischen Bergketten weit reichere hydrometeorische Niederschläge haben, als die niedern und die Berg-Ebenen, und dieses um so mehr, je höher und ausgedehnter die Bergketten sind, welche jene Thäler bilden; ich selbst habe im Jahre 1832 Gelegenheit gehabt, mehrmals zu beobachten, daſs es in den Thälern des Schwarzwalds regnete, und zwar mit zunehmender Stärke, je tiefer man in dieselben eindrang, wenn es in der angrenzenden Ebene und auf den Höhen jener Berge bloſs trübes und nebliges Wetter war. Ueberhaupt darf man jetzt als durch unzweifelhafte Erfahrungen begründet ansehn, daſs die Menge des atmosphärischen Wassers auf Bergen gröſser ist, als in ebenen Gegenden, ungeachtet seit v. SAUSSURE man allgemein geneigt war, die obern Regionen der Atmosphäre für sehr trocken zu halten[3]. Hieraus ist erklärlich, daſs die Regenmenge in Genf nach einer genäherten Bestimmung nur 29 Z., auf dem Hospitium des St. Bernhard dagegen 49,5 Zoll beträgt; desgleichen verlieren die (oben c) bereits erwähnten Erfahrungen von SCHÜBLER, wonach die Regenmenge auf dem Schaichhof und noch mehr die zu Genkingen gröſser sind als zu Tübingen, die für die mit der Höhe wachsende Quantität des hydrometeorischen Wassers ihnen beigelegte Beweiskraft. Ueberhaupt sind die Regenmengen in den Alpen gröſser als in den sie nördlich und selbst südlich begrenzenden Ebenen, woraus der reichliche Wassergehalt erklärlich wird, welchen die Etsch, der Po, die Rhone, der Rhein und insbesondere die Donau jährlich aus ihnen dem Meere zuführen. Die mehrfach gemachten Beobachtungen, daſs Wolken, die demnächst leicht zu Gewittern übergehn, an den Spitzen der hervorragenden Kuppen gröſserer Gebirgszüge gebildet werden, wie unter andern RUMI[4], BRAN-

1 Untersuchungen über die Veränderungen, die durch die Ausrottung d. Wälder in dem physischen Zustande d. Länder entstehn u. s. w. Uebers. von WIEDEMANN. Tüb. 1828.

2 Vergl. *Klima*. Bd. V. S. 881.

3 Vergl. KÄMTZ Meteorologie. Th. I. S. 348.

4 Wiener Zeitschrift. Th. V. 59.

des[1] und Cook[2] erzählen, stimmen ganz hiermit überein, desgleichen die Erzählungen von Le Blond[3] und Lavayssé[4], dafs auf manchen Spitzen hoher Berge unter der heifsen Zone fast regelmäfsig bei einbrechender Nacht ein kurzdauernder Regen fällt, endlich der fast tägliche Regen, welchen Freygang[5] auf dem Ararat angetroffen zu haben berichtet.

3) Berge wirken mittelbar auf die Regenmengen dadurch, dafs sie die Richtung der Winde bedingen, durch welche die Regenwolken herbeigeführt werden. Abstrahiren wir vorläufig von dem Einflusse der Winde, sofern diese feuchtere oder trocknere Luft aus entferntern Gegenden herbeiführen, so zeigt sich ein andrer darin, dafs hohe und weit ausgedehnte Berge die Regenwolken aufhalten, ihre Entladung befördern und hierdurch bewirken, dafs an der einen Seite solcher Gebirgszüge überwiegend vieler Regen fällt, während die andre sogar Mangel daran leiden kann. Beispiele dieser Art sind nicht selten, in einem gröfsern Mafse aber zeigt sich die Sache in demjenigen, was v. Humboldt von der Hochebene Quito's und Christie von der Gegend um Darwar erzählt[6]. In der letztern regnete es 1827 fast 3 Wochen hindurch unaufhörlich, während weiter östlich die gröfste Trockenheit herrschte; wegen der langen Dauer der Regen müssen sich die Bewohner der westlichen Gegenden mit Vorräthen versehn, weil die schwellenden Bäche die Verbindung hindern, eine Vorsicht, die man weiter östlich nicht kennt. Zu Goa beobachtete Christie aufserdem, dafs um Mittag des 6. Oct. starke Wolkenmassen mit Blitz und Donner auf den 2500 Fufs hohen Gauts-Gebirgen sehr schnell hinzogen, während in den untern Gegenden völlige Windstille herrschte. Einen sehr auffallenden Beweis liefert aber die oben mitgetheilte Regenmenge von Coimbra, welche gröfser ist, als an irgend einem andern Orte in Europa, und blofs daraus erklärbar wird, dafs die vom Meere kommenden Dämpfe an den Gebirgen, welche jene Stadt amphitheatralisch einschliefsen, condensirt werden. Zu

1 Beiträge zur Witterungskunde. S. 316.
2 Dritte Reise. Deut. Ueb. B. I. S. 483.
3 Reise. Ueb. von Zimmermann. S. 178.
4 Dessen Reise. In Bibliothek d. Reis. S. 55 u. 65.
5 Reise nach dem Caucasus. S. 252.
6 S. *Klima*. B. V. S. 880.

Lissabon und Mafra kann der Niederschlag so bedeutend nicht seyn, weil die Temperatur daselbst höher ist als die über dem benachbarten Meere, ganz demjenigen entgegengesetzt, was zu Bergen statt findet.

4) Ob in der Erde selbst bedingende Ursachen vorhanden sind, welche den Regen anziehn und daher die Menge des herabfallenden Wassers etwas vermehren, bleibt immerhin fraglich. In gröfserer Tiefe können dieselben auf keine Weise gesucht werden, wohl aber ist es denkbar, dafs sich nahe unter der Oberfläche manche Substanzen befinden, welche anziehend auf die Wolken, namentlich die elektrischen, wirken. Als beweisend hierfür, wo nicht direct, doch mindestens indirect, könnte angeführt werden, dafs der aus den Wolken ausfahrende Blitz eine Disposition zu seiner Aufnahme an dem von ihm getroffnen Orte voraussetzt, den er durch seine Schlagweite zu erreichen vermag, woraus erklärlich wird, dafs er oft seine Bahn mitten zwischen anscheinend bessern Leitern hindurch wählt. Nicht minder deutet das sogenannte Rauchen der Berge, eine bereits beschriebene eigenthümliche Art von Nebel[1], auf eine solche Disposition der äufsern Erdrinde. Wäre die Sache begründet, so liefse sich aus ihr wiederum die Erklärung entnehmen, warum an manchen Orten die Regenmengen gröfser sind, als an andern nicht weit entfernten, ohne dafs man einen sonstigen Grund dieser Verschiedenheit aufzufinden vermag[2].

f) Einflufs der Winde auf den Regen.

Der Regen fällt allezeit aus Wolken, die durch den Wind herbeigeführt sind, und es giebt wohl kein Beispiel, dafs die Atmosphäre über einer gewissen Gegend unbewegt bleibend mit Wafserdampf überladen würde und sich dieses ihres Gehalts an der nämlichen Stelle wieder entledigte. Hieraus folgt dann aber nothwendig, dafs ein bedeutender Un-

---

1 S. *Nebel.* Oben S. 20.

2 Meinecke hat diese Frage zur nähern Untersuchung gebracht, zugleich aber mit anderweitigen unhaltbaren Hypothesen in Verbindung gesetzt, die weiter keine Beachtung verdienen. Die ganze Aufgabe war für ihn zu schwierig. S. v. Leonhard Taschenbuch der Mineralog. Th. XVIII. S. 74.

terschied statt finden mufs, ob die Luftmassen aus einer Gegend herbeiströmen, wo sie mit Wasserdampf gesättigt, ja sogar bei vorherrschender höhrer Temperatur damit übersättigt werden konnten, oder vielmehr aus einer solchen, wo sie sogar ihres Dampfgehalts durch die geeigneten Bedingungen beraubt wurden. Bleiben wir beispielsweise bei Europa stehn, so müssen im Allgemeinen die vom atlantischen Oceane herbeigeführten Luftmassen feucht, die vom asiatischen Continente herkommenden dagegen trocken seyn, erstere also Regen, letztere dagegen heitres Wetter bringen, und eben dieses mufs aus gleichen Gründen rücksichtlich des mittelländischen Meers und der Polargegenden statt finden, die westlichen und südlichen Winde also Regen, die östlichen und nördlichen dagegen Trockenheit bringen. Von grofser Wichtigkeit in dieser Beziehung sind einige sehr auffallende Beispiele, aus denen W. Brandes[1] dargethan hat, dafs für einen grofsen Theil von Deutschland und selbst Europa die Regenwolken im Ganzen ihren Ursprung im atlantischen Oceane haben. Es würde hiernach nicht schwer seyn, diejenigen Winde zu bestimmen, welche vorzugsweise oder allein in den verschiednen Gegenden Regen geben, allein theils giebt es oft ganz andre Luftströmungen in der Höhe als in tiefern Regionen, theils verändert sich die Richtung der Winde nach den Bergzügen und sonstigen Bedingungen selbst auf kürzere Strecken[2], wie namentlich zu Strafsburg und Carlsruhe durch den Einflufs der Schwarzwaldsberge der Fall ist, denn man erhält als mittlere Richtung des Winds am ersten Orte nach Herren-Schneider[3] $= 133^\circ\ 1'$ oder $O + 43^\circ\ 1'$ (fast SO.), am letztern nach Eisenlohr[4] $= 91^\circ\ 8'$ oder $O + 1^\circ\ 8'$, wenn man von N. durch O. nach S. zählt. Am auffallendsten in dieser Beziehung zeigen sich die periodischen Winde der heifsen Zone, die eine gewisse Zeit hindurch herrschend von anhaltender Trockenheit begleitet sind, dann wechselnd oder gar

1 De repentinis variationibus in pressione atmosphaerae observatis. Lips. 1826. 4.

2 G. Schübler Grundsätze der Meteorologie u. s. w. Leipz. 1831. 8. S. 137. Vergl. Correspondenzblatt d. Würtemb. landwirthsch. Vereins. Stuttg. u. Tübing. 1829.

3 Dove in Poggendorff's Ann. XIII. 585.

4 Witterungsverhältnisse von Carlsruhe S. 42.

zur entgegengesetzten Richtung übergehend die beständigen Regen bringen, wobei meistens die Ursachen dieser Ungleichheit sich unmittelbar ergeben, indem die trocknen heifse Luft von dürren Flächen, meistens Sandwüsten, herbeiführen, die nassen dagegen mit Wafserdampf, meistens über dem Meere oder feuchten Gegenden, gesättigt worden sind. Als Beispiele können die bereits (oben d) mitgetheilten Beschreibungen der tropischen Regen dienen, inzwischen ist die Sache so allgemein bekannt, dafs man diejenigen Winde, bei denen es am häufigsten regnet, vorzugsweise *Regenwinde* zu nennen pflegt.

Obgleich dieses im Allgemeinen bereits genügend bekannt war, so ist doch L. von Buch[1] der erste, welcher diesen Gegenstand vollständig und in einer streng wissenschaftlichen Form behandelt hat. Als Resultat seiner Untersuchungen folgt für Berlin, dafs, die Anzahl der Regen = 100 angenommen, folgende Mengen mit den 8 Winden der Windrose zusammenfallen:

N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
4,1	4,0	4,9	4,9	10,2	32,8	24,8	14,4.

Das bedeutende Uebergewicht, welches hiernach auf die Seite der SW. und W. Winde fällt, könnte jedoch in der vorherrschenden Menge dieser gegründet seyn, was allerdings in gewisser Hinsicht wahr ist, allein zugleich ergiebt eine anderweitig angestellte Untersuchung, dafs hierin der Grund nicht allein liege. Wird nämlich aus den Beobachtungen berechnet, wie oft einer der genannten Winde wehen müsse, wenn Regen erfolgen soll, so erhält man folgende Resultate:

N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
5,8	8,1	8,8	6,9	3,8	2,8	4,2	4,5.

Ist eine genügende Menge von Beobachtungen vorhanden, wenn die Regentage und die gleichzeitig wehenden Winde gehörig aufgezeichnet wurden, so kann daraus gefunden werden, wie oft es bei jedem Winde regnete, wobei man zur leichtern Uebersicht am besten die gesammte Menge der atmosphärischen Niederschläge auf 100 reducirt und angiebt, wie viele von diesen jedem einzelnen Winde zugehören. Verschiedne Zusammenstellungen dieser Art für mehrere Orte von

1 Berliner Denkschriften 1818—19. S. 101.

Europa hat GASPARIN[1] mitgetheilt, wichtiger scheint es mir jedoch, dasjenige hier aufzunehmen, was durch SCHÜBLER und KÄMTZ in dieser Beziehung geschehn ist[2]. Ersterer stellt folgende zu Deutschland gehörige Reihen zusammen, um aus ihnen das arithmetische Mittel zu finden.

Orte.	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Augsburg	3,15	2,54	0,54	1,27	3,09	25,39	46,12	17,87
Schwäb. Alp[3]	13,71	4,85	3,30	5,44	12,45	21,40	19,84	18,96
Stuttgart	7,08	7,00	7,21	2,28	6,69	36,44	21,83	11,44
Mannheim	12,50	7,13	13,97	11,03	27,13	8,31	17,42	2,42
Berlin	6,06	7,80	5,48	5,56	8,72	27,99	21,92	16,44
Hamburg	3,56	2,93	4,10	4,87	4,46	27,14	36,63	16,37
Mittel	7,66	5,37	5,76	5,07	10,42	24,44	27,29	12,25

Aufser diesen hat derselbe noch folgende 5 Reihen aufgenommen, denen ich die von Carlsruhe hinzufüge[4].

Orte.	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Padua	39,87	22,19	6,61	3,15	1,36	0,63	5,18	21,01
St. Bernhard	1,55	47,31	0,00	0,20	0,00	50,72	0,20	0,20
Genf	1,25	10,10	0,21	1,25	2,81	77,08	0,00	7,29
Bern	20,15	5,81	,77	4,65	0,39	3,33	42,24	22,48
Kopenhagen	5,17	8,84	14,28	8,29	12,51	25,98	18,91	5,99
Carlsruhe	6,85	9,58	1,68	1,03	3,08	56,75	17,03	4,00

Beide hier mitgetheilte Tabellen bestätigen sehr das aufgestellte allgemeine Gesetz, dafs die Hydrometeore eine Folge von Niederschlägen des Dampfs sind, welcher aus feuchten Gegenden in die kältern strömt oder an den Orten bereits vorhanden durch eindringende kalte Luftmassen ausgeschieden

---

1 Bibliot. univ. T. XXXVIII. p. 180.

2 KÄMTZ hat genau angegeben, woher die Beobachtungen entnommen sind, nämlich die von Rochelle, Mannheim, Würzburg, München, Prag, Erfurt, Moscow und Stockholm aus den Mannheimer Ephemeriden, von Kopenhagen aus SCHOUW's Climatologie I. 79., von Åbo aus Schwed. Abh. XXIV. 193., von Ulea aus Neue Schwed. Abh. X. 104., von Petersburg aus Nov. Act. Petr. IX. 393. SCHÜBLER hat dieses nicht gethan. Diejenigen Bestimmungen, welche beide gemeinschaftlich haben, stimmen rücksichtlich der absoluten Zahlengröfsen nicht genau überein, die relativen Verhältnisse weichen indefs nur unmerklich von einander ab. Vergl. SCHÜBLER über die mittlern Windrichtungen in Deutschland in Schweigg. Journ. N. R. B. XXV. 135.

3 Aus 14jährigen Beobachtungen vom Pfarrer GÖSSLIN zu Böringen.

4 Aus Dr. EISENLOHR's: Witterungsverhältnisse von Carlsruhe.

wird. Nach der ersten Tabelle bringen überall die W. Winde sowohl an sich, als auch wenn sie sich nach S. und N. neigen, die häufigsten Niederschläge, was insbesondere dann sich allgemein zeigen mufs, wenn man voraussetzt, dafs die anfangs in den höhern Regionen der Atmosphäre den Polen zuströmenden äquatorischen Luftmassen sich über dem europäischen Continente herabsenken. Nehmen wir die Bestimmungen für Mannheim als richtig an, so wird die gröfsere Menge der Regen bei S. Winde aus der Längenerstreckung des Rheinthals leicht erklärlich, die für NW. und N. gegebenen Zahlen müfsten aber nach meinen mehrjährigen Beobachtungen vielmehr umgekehrt werden, da ich ohne eigentliche Messung und Aufzeichnung bei ersterem Winde sehr häufig, bei letzterem aber selten dort Regen wahrnehme. Weiter nördlich, zu Berlin und Hamburg, tritt der Einflufs der W. Winde stärker hervor, in Stuttgart dagegen fällt nach Schübler die gröfste Regenmenge mit SW. deswegen zusammen, weil das dortige Thal diese Richtung hat.

Lambert[1] zeigte, auf welche Weise man die mittlere Windrichtung an irgend einem Orte finden könne, wenn man die aus den einzelnen Puncten der Windrose wehenden als Kräfte betrachte und aus diesen die Resultirende suche. Indem sich aber die Winde in einem Kreise drehn und insgesammt um 45° von einander abstehn, wenn man deren acht annimmt, so darf man nur von N. durch O. nach S. zählend

$$a = O - W + (NO + SO - SW - NW) \sin. 45^\circ$$
$$b = N - S + (NW + NO - SO - SW) \cos. 45^\circ$$

setzen, um für die mittlere Windrichtung $= \varphi$

$$\text{tang. } \varphi = \frac{a}{b}$$

zu erhalten. Sieht man demnach die Menge der Regentage, welche auf einen jeden dieser Winde fallen, als das Mafs der Kraft an, welche er zur Erzeugung des Regens ausübt, so erhält man hiernach die der gröfsten Regenmenge zugehörige mittlere Windrichtung. Schübler hat hierzu die aus der ersten Tabelle gefundenen arithmetischen Mittel benutzt und

1 Nouveaux Mém. de Berlin. 1777. p. 26. Vergl. Art. *Wind.*

findet sonach für Deutschland die dem meisten Regen zugehörige mittlere Windrichtung $= 254^\circ\, 26'$ oder SW $+ 29^\circ\, 26'$, also etwa 7° über WSW. nach W. hin fallend.

Ungleich vollständiger, als dieses durch Gasparin und Schübler geschehn ist, hat Kämtz[1] den Einfluſs der Winde auf die Regenmengen für viele Orte nachgewiesen und ist in diesen Bestimmungen auch insofern über die Leistungen der beiden genannten Gelehrten hinausgegangen, als er nicht bloſs die relativen Mengen der einem jeden der acht Winde zugehörigen Regen, sondern auch die Zahlen, wie oft einer derselben wehn muſs, wenn es einmal bei ihm regnen soll, aufgefunden hat. Ist nämlich die Zahl der Beobachtungen $= S$, kommt unter diesen ein gewisser Wind s mal vor, ist die Menge der zu den beobachteten Windrichtungen gehörigen hydrometeorischen Niederschlägen $= N$ und fallen von diesen n auf einen gewissen Wind, so ist $\frac{s}{n}$ das Verhältniſs, wie oft dieser Wind wehn muſs, wenn es einmal bei ihm regnen soll.

Auf diese Weise sind folgende Bestimmungen erhalten worden, denen ich bloſs die aus den Carlsruher Beobachtungen hinzufüge. Die Columne A bezeichnet die auf 100 reducirten Verhältniſszahlen der einem jeden der acht Winde zugehörigen Regenmengen, B die Zahl, wie oft ein gewisser Wind wehn muſs, wenn es einmal bei ihm regnen soll[2].

	La Rochelle		Kopenhagen		Mannheim		Würzburg	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	6,0	11,1	4	14,3	6,8	6,1	6,4	8,3
NO.	8,3	22,4	7	14,3	5,8	8,4	3,8	11,2
O.	4,7	8,7	11	12,5	7,4	6,3	6,2	8,9
SO.	3,6	5,9	8	8,3	13,3	3,3	8,9	5,3
S.	12,9	5,2	14	6,4	14,9	2,7	16,2	4,4
SW.	47,4	4,0	29	6,3	23,3	2,7	24,9	4,1
W.	10,4	6,3	21	7,7	16,2	2,9	23,0	5,4
NW.	6,7	8,6	6	12,5	12,3	4,6	10,6	6,8

1 Meteorologie Th. I. S. 433.

2 Kämtz bringt diese Resultate auf einen allgemeinen analytischen Ausdruck zurück, dessen sich Hällström in Poggendorff's Ann. IV. 373. und Dove ebend. XI. 576. u. a. bereits bedient haben, wonach $R^{(n)} = r + u' \sin. (n. 45^\circ + v') + u'' \sin. (n. 90^\circ + v'')$ ist, worin $R^{(n)}$ die Zahl bezeichnet, wie oft der Wind aus dem nten Puncte wehn muſs, wenn es bei ihm einmal regnen soll, und

	München		Prag		Erfurt		Moscow	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	4,7	6,3	7,3	4,3	7,2	8,5	8,5	4,6
NO.	2,7	7,2	3,5	9,2	7,7	7,3	11,7	3,5
O.	5,7	13,8	2,5	13,5	16,4	9,1	3,9	3,2
SO.	1,3	11,6	4,4	12,7	3,7	10,2	17,8	3,2
S.	7,5	5,9	9,1	7,8	7,0	7,8	9,4	3,1
SW.	28,9	3,2	24,8	5,1	17,7	6,8	23,2	2,8
W.	46,3	2,9	23,6	4,3	28,5	5,8	6,4	3,2
NW.	2,9	4,9	24,8	3,8	11,8	3,7	19,1	4,4

	Stockholm		Åbo		Ulea		Petersburg	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	13,4	2,8	6,0	5,1	14,2	5,2	8,5	3,3
NO.	16,7	1,9	14,6	3,5	12,1	4,5	8,5	3,2
O.	12,6	2,2	13,1	2,7	15,3	3,9	14,9	3,0
SO.	13,2	2,3	20,1	2,1	13,0	4,3	11,7	2,7
S.	14,7	2,8	13,5	3,1	22,2	4,5	13,1	2,6
SW.	13,0	3,5	17,6	3,8	10,8	5,7	16,0	2,2
W.	9,3	6,0	7,8	5,7	7,0	6,6	17,2	2,8
NW.	7,1	4,1	7,3	5,8	5,4	7,9	10,1	3,3

Zu diesen setze ich der Vollständigkeit wegen noch folgende aus verschiedenen Gegenden.

	Carlsruhe [1]		Padua [2]		Rom [2]		Cambridge [3] bei Boston	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	6,85	5,25	33,5	5,6	16,2	12,3	15,3	3,2
NO.	9,58	11,78	24,6	3,5	8,8	6,7	28,4	2,3
O.	1,68	13,67	11,1	7,5	8,1	3,0	10,3	7,3
SO.	1,03	4,75	5,1	9,4	12,1	3,8	6,4	3,3
S.	30,88	3,80	3,6	11,9	18,0	4,7	14,3	3,6
SW.	56,75	2,92	4,7	8,8	22,8	7,1	14,6	10,0
W.	17,03	3,52	7,8	9,8	9,1	6,8	5,2	22,1
NW.	4,00	4,42	9,6	9,7	4,9	9,0	5,5	21,1

Meine eignen Beobachtungen hier in Heidelberg sind seit 1817 oder vielmehr, weil die Verlegung der akademischen Institute

---

wozu die Constanten aus der Columne B genommen werden. Indeſs übergehe ich eine weitere Erörterung dieser Aufgabe, die mir minder wichtig scheint.

1 Eisenlohr Witterungsverhältnisse von Carlsruhe.

2 Kämtz Meteorologie Th. I. S. 473.

3 Ebend. S. 483. aus Mannheimer Ephem.

im nächstfolgenden Jahre eine Störung verursachte, seit 1819 ohne Unterbrechung fortgesetzt worden, jedoch habe ich die Windrichtungen nicht mit aufgezeichnet, weil es wegen der Zurückwerfung des Windes von den nahen Bergen unmöglich ist, auch vermittelst der besten Windfahnen genaue Beobachtungen seiner Richtung zu erhalten. Im Ganzen bestätigt sich jedoch auch hier das Gesetz, dafs der Wind den Kreis in der Richtung von N. durch O. und S. nach W. durchläuft und nur selten bei sehr veränderlicher Witterung einen entgegengesetzten Gang befolgt, insofern er namentlich bei stürmischem und regnerischem Wetter zwischen NW. und SW. oder häufiger zwischen W. und S. schwankt. Beim O. Winde ist der Regen am seltensten, auch bleibt das Wetter heiter, während der Wind durch S. nach W. und selbst NW. bei steigendem Barometerstande übergeht; nur selten beginnt der Regen schon beim tiefsten Stande des Barometers, meistens erst beim steigenden, aber der herrschende Wind ist dann südwestlich, jedoch dauert derselbe fort während seines Ueberganges durch W. nach N. und hört erst nach einiger Dauer des letztern gänzlich auf[1]. Die mit Wasserdampf gesättigten Wolken scheinen also durch südliche Luftströmungen herbeigeführt und ihres Wassergehalts erst durch Beimischung kalter nördlicher oder nordwestlicher Winde beraubt zu werden.

g) Einflufs der Jahreszeiten auf die Regenmengen.

Die Winde sind nicht im ganzen Jahre gleichmäfsig vertheilt, sondern die Menge der einzelnen ist in den verschiedenen Jahreszeiten ungleich, und da die Regenmengen von den Winden abhängen, so folgt hieraus von selbst deren Abhängigkeit von den verschiednen Jahreszeiten. Uebten die letztern diesen Einflufs ohne Einschränkung aus, so müfste das Verhältnifs der Winde und der Regenmengen zu den Jahreszeiten einander gleich seyn, allein es folgt schon aus den Resultaten, welche L. von Buch für Berlin erhalten hat, dafs die Zahlen, wie oft ein gewisser Wind wehn mufs, wenn es einmal bei ihm regnen soll, für die verschiednen Jahreszeiten verschieden sind, nämlich

1 Vergl. *Meteorologie*, Barometerschwankungen.

	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Winter	5,0.	4,4.	8,3.	6,6.	3,9.	2,6.	3,2.	3,3.
Frühling	3,8.	4,6.	11,1.	7,8.	4,2.	3,0.	3,8.	5,1.
Sommer	7,5.	9,9.	5,4.	6,4.	2,8.	2,4.	4,0.	4,9.
Herbst	10,3.	9,2.	24,1.	6,6.	4,5.	3,2.	5,8.	4,0.

Neuerdings hat jedoch Gasparin[1], aufmerksam gemacht durch seine Untersuchungen über den Einfluſs der klimatischen Beschaffenheit der verschiedenen Orte auf die Agricultur[2], die Aufgabe zum Gegenstande ausführlicher Forschungen gemacht, und aufgefunden, daſs auch in den gemäſsigten Klimaten insofern eine Art von Periodicität der Regen statt findet, als die gröſsten Regenmengen an gewisse Jahreszeiten gebunden sind. Diese Behauptung gewinnt an Gewicht und Wahrscheinlichkeit dadurch, daſs die verschiedenen Länder sich nach der Zusammenstellung mehr- und vieljähriger Beobachtungen in verschiedne Gruppen eintheilen lassen, zwischen denen sogar die Wendepuncte deutlich hervortreten, wo die eine Periode in die entgegengesetzte übergeht. Da diese ganze Untersuchung bereits durch Kämtz nicht bloſs benutzt, sondern auch vervollständigt und verbessert worden ist, so begnüge ich mich hier nur einige Hauptsätze daraus mitzutheilen.

Europa zerfällt in zwei groſse Abtheilungen, wovon die nordöstliche vorzugsweise Sommerregen, die südwestliche dagegen Herbstregen hat. Letztere beschränkt sich jedoch nicht bloſs auf den genannten Welttheil, sondern erstreckt sich bis zum Atlas, zu den Katarakten in Aegypten, nach Darfur und Abyssinien, und auch die Canarischen Inseln sind nach L. von Buch darin begriffen. Als einen Scheidepunct beider nimmt Gasparin Groſsbritannien an, welches nur mit unmerklichem Uebergewichte dem Herbstregen angehört, jedoch bedarf es nur einer Bergkette zwischen dem südwestlichen Oceane und einem Lande, um dieses den Sommerregen zu unterwerfen, weswegen Deutschlands Küsten, durch England gedeckt, schon zu den letztern gehören und der Canal also die Grenze zwischen den Herbst- und Sommerregen bildet. Hiernach liegen Boulogne und Flandern in der Region der Sommerregen, zu Paris aber verschwindet der Unterschied, es befindet

1 Bibl. univ. T. XXXVIII. p. 54 ff. 113 ff.
2 Mém. de la Soc. centrale d'Agriculture. 1826.

sich dort gleichfalls ein Uebergangspunct, und eine Linie von London nach Paris hat also rechts die Region der Herbstregen, links die der Sommerregen. Werden diese Untersuchungen fortgesetzt, so findet man die Linie, welche die Länder, zu denen die von den südlich und südwestlich gelegnen Meeren herströmenden Winde frei gelangen können, von denjenigen trennt, welche durch eine Bergkette oder eine grofse Länderstrecke dagegen geschützt sind, wovon dann die ersteren zur Region der Herbstregen, die letzteren zu der der Sommerregen gehören. Dabei ist übrigens einleuchtend, dafs die Grenze nicht absolut scharf seyn kann, wenn nicht hohe Bergketten sie bestimmen, und dafs daher mehrfache bedingende Ursachen ihr eine Beugung geben, oder sie auch selbst nur für gewisse Zeitintervalle verrücken müssen, wie denn namentlich derjenige Theil derselben, welcher früher durch das Seine-Thal gebildet wurde, weiter östlich gerückt ist.

Gasparin hat diese in wissenschaftlicher Hinsicht interessante und für die Agricultur wichtige Untersuchung noch weiter fortgesetzt und nach einer grofsen Menge von ihm benutzter genauer Beobachtungsregister die verschiednen Gegenden in der Beziehung geordnet, wie in ihnen die den *vier Jahrszeiten* zugehörigen gröfsern Regenmengen vorherrschend sind. Mit Recht hat jedoch Kämtz die Einwendung gemacht, dafs die von jenem gewählte Abtheilung der Jahreszeiten zwar astronomisch richtig, für diese meteorologischen Bestimmungen aber unpassend ist, insofern die ihre Eigenthümlichkeit hauptsächlich bedingende Sonnenhöhe nicht in den Anfang, sondern in die Mitte derselben fallen mufs. Ungleich zweckmäfsiger, insbesondre mit Rücksicht auf die nachhaltende Wärme, gehören daher März, April und Mai zum Frühling, Juni, Juli und August bilden den Sommer, September, October und November den Herbst, und es bleiben sonach December, Januar und Februar für den Winter. Diese Abtheilung hat Kämtz zum Grunde gelegt, hiernach die verschiednen Gegenden in Beziehung auf die Regenmengen geordnet, dabei zwar die Vorarbeiten Gasparin's benutzt, jedoch so bedeutend erweitert und so sehr unmittelbar aus den Quellen geschöpft, dafs seine Arbeit als eine ganz neue betrachtet werden kann, aus welcher ich hier das Wichtigste um so mehr in einiger gröfserer Vollständigkeit mittheile, als es schon

an sich interessant und in mehrfacher Beziehung nützlich ist, die monatlichen Regenmengen der verschiedenen Orte zu kennen[1]. Am meisten Aufmerksamkeit in dieser Beziehung verdient England, nicht bloſs insofern es von GASPARIN als einen Wendepunct bildend gefunden worden ist, sondern auch weil es, überall vom Meere umgeben, den unmittelbaren Einfluſs der Luftströmungen auf die Hydrometeore erkennen läſst, und auſserdem besitzen wir aus diesem Lande viele genaue Beobachtungen. Für den westlichen und südwestlichen Theil erhält man demnach folgende Regenhöhen, aus denen das Verhältniſs der Jahreszeiten auf 100 reducirt entnommen ist.

Monat.	Ins. Man.		Penzance		Bristol		Liverpool		Manchester.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Jan.	6	6,0	3	4,2	1	5,5	2	3,2	2	2,0
Febr.	2	4,5	2	9,2	1	0,1	1	11,0	2	4,9
März	2	5,6	2	11,9	1	8,7	1	5,1	1	11,6
April	2	5,2	1	6,2	1	1,2	1	11,3	1	10,6
Mai	1	5,2	2	7,5	2	4,6	2	5,1	2	8,6
Juni	1	8,4	1	10,3	1	2,5	2	7,0	2	4,2
Juli	1	10,7	2	4,4	2	10,2	3	3,3	3	5,6
August	3	3,4	2	9,9	1	0,0	3	0,9	3	5,3
Septemb.	2	11,7	2	10,1	0	9,2	3	8,9	3	0,9
October	4	5,6	4	6,9	3	1,9	3	6,8	3	8,1
Novemb.	4	8,2	4	1,7	3	2,3	3	4,5	3	1,8
Decemb.	4	7,5	4	10,9	2	0,1	2	9,4	3	7,1
Jahr	34	10,0	36	9,2	21	10,3	32	4,5	33	10,8
Winter	27,3		29,9		20,5		21,6		40,0	
Frühling	18,2		19,4		23,8		17,9		20,0	
Sommer	19,7		19,2		23,2		27,6		27,0	
Herbst	34,8		31,5		32,5		32,9		29,0	

1 KÄMTZ Meteorologie Th. I. S. 448 bis 506. Auſserdem befindet sich Einiges über diese Eintheilung in der bereits erwähnten Meteorologie von SCHÜBLER und beiläufig in meteorologischen Abhandlungen. Da es mir nicht wohl möglich und an sich auch nicht zweckmäſsig seyn würde, diesen Gegenstand noch mehr zu erweitern, als bereits durch KÄMTZ geschehn ist, unser Werk auſserdem die Wissenschaft nicht neu gestalten, sondern bloſs das Bestehende zusammenstellen und nur die etwa vorhandnen Mängel, so weit als thunlich ist, ergänzen soll, so trage ich kein Bedenken, den Hauptinhalt der genannten schätzbaren Arbeit aufzunehmen, jedoch der Kürze wegen mit Weglassung der Quellen, die benöthigten Falls am genannten Orte zu finden sind. Für die wenigen von mir hinzugefügten Orte habe ich die Quellen angegeben.

Monat.	Lancaster		Kendal		Gasport		Dover.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	3	2,9	4	10,0	2	5,7	4	6,9
Februar	2	9,7	4	8,6	2	5,6	3	3,3
März	1	7,7	3	1,1	1	11,7	2	10,8
April	2	0,5	2	9,4	2	4,2	2	9,6
Mai	2	3,7	3	0,2	2	4,7	3	2,3
Juni	2	4,3	2	6,1	1	1,5	2	1,4
Juli	3	10,6	4	3,8	2	0,2	4	7,2
August	4	3,6	4	7,8	1	7,8	2	9,7
Septemb.	3	6,2	4	7,3	3	0,7	3	4,3
October	3	10,7	5	2,5	2	8,7	4	8,4
Novemb.	3	6,5	4	10,5	2	10,2	4	3,1
December	3	8,5	5	9,6	2	9,5	5	6,2
Jahr	37	3,0	50	4,9	27	10,5	44	1,2
Winter	26,2		30,4		27,7		30,3	
Frühling	16,1		17,6		24,1		20,1	
Sommer	28,3		22,8		17,2		21,6	
Herbst	29,4		29,2		31,0		28,0	

Alle zusammengenommen geben folgende Verhältnisse der Jahreszeiten: Winter 26,4; Frühling 19,7; Sommer 23,0; Herbst 30,9. Weniger tritt dieses Vorwalten der Herbstregen im Innern und an der östlichen Seite Englands hervor.

Monat.	Chattsworth		Branxholm		Barrowby		Kinfauns.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	0,7	2	1,8	1	4,3	2	0,7
Februar	1	6,6	2	10,5	1	6,2	1	6,2
März	1	2,9	2	0,2	1	0,0	1	3,5
April	1	11,4	1	8,2	1	4,4	1	8,5
Mai	1	11,8	2	4,4	1	6,3	2	3,7
Juni	2	1,7	2	0,2	1	11,7	1	7,3
Juli	2	9,8	2	11,2	2	9,2	2	0,9
August	2	3,4	2	3,0	2	3,5	2	1,8
Septemb.	2	1,8	2	11,3	3	4,2	1	7,6
Octob.	2	10,6	3	7,5	2	5,8	2	0,8
Novemb.	2	5,6	2	7,3	2	2,3	2	4,8
December	2	4,9	2	0,5	1	11,0	2	4,2
Jahr	25	11,4	29	6,1	23	8,9	23	2,0
Winter	23,2		23,9		20,2		25,6	
Frühling	19,9		20,6		16,4		22,9	
Sommer	27,9		24,3		29,6		25,2	
Herbst	28,9		31,1		38,8		26,3	

Monat.	Hackney Wick		Oxford		London		Epping	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	0,8	0	11,5	1	7,4	0	9,6
Februar	1	10,5	1	8,2	1	5,3	1	10,8
März	1	3,5	0	10,0	1	8,7	1	8,2
April	1	11,6	1	10,3	1	7,8	1	10,2
Mai	2	3,6	1	3,4	1	10,5	2	0,6
Juni	1	8,7	0	8,3	1	7,3	1	10,9
Juli	1	8,6	2	8,7	2	1,1	1	9,1
August	1	10,0	1	7,3	1	9,5	2	0,8
Sept.	2	5,2	2	0,0	2	1,1	2	7,3
October	2	4,6	2	9,0	2	7,7	2	11,7
Nov.	2	2,5	2	3,9	2	4,8	3	1,7
Dec.	1	11,9	1	10,3	2	5,6	2	5,6
Jahr	22	9,5	20	6,9	23	4,8	25	2,5
Winter	21,6		21,9		23,6		20,5	
Frühling	24,4		19,3		22,4		22,1	
Sommer	23,1		24,4		23,5		22,7	
Herbst	30,9		34,4		30,5		34,6	

Monat.	Lyndon		New Malton		Dumfries		Glasgow		Edinburg.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	2,6	2	1,5	2	10,8	1	6,0	1	10,6
Februar	1	1,2	1	8,1	2	7,9	1	7,6	1	7,2
März	0	11,9	1	9,4	2	0,4	1	1,3	1	4,4
April	1	1,6	2	3,0	1	10,7	0	11,0	1	5,8
Mai	1	2,8	2	9,0	2	4,9	1	6,5	1	9,7
Juni	1	8,9	2	0,1	2	9,5	1	3,1	1	6,9
Juli	1	11,1	2	0,8	3	0,7	2	1,9	2	3,4
August	1	8,5	2	7,2	3	0,0	2	6,9	2	4,9
Sept.	1	6,8	2	2,7	4	1,0	1	6,2	2	1,8
October	1	7,5	2	11,2	3	11,0	2	1,9	2	4,5
Nov.	1	7,8	2	10,4	2	11,7	1	9,4	2	5,3
Dec.	1	3,0	3	0,9	2	11,4	1	10,3	1	11,7
Jahr	17	1,7	28	4,3	34	8,0	20	0,1	23	4,2
Winter	20,8		24,3		24,6		24,9		23,4	
Frühling	19,6		23,9		18,3		17,8		19,9	
Sommer	31,3		23,5		25,5		29,9		26,8	
Herbst	28,2		28,3		31,6		27,3		29,9	

Hier zeigen die Sommerregen ein entschiedenes Uebergewicht über die Winterregen und übertreffen zu Glasgow, noch mehr aber zu Lyndon, selbst die Herbstregen. Hiermit stimmt überein, dafs die Bewohner Lyndons in der Regel auf einen heitern Herbst rechnen. Im Mittel erhält man auf 100 reducirt für den Winter 23,0, den Frühling 20,6, den Sommer 26,0, den Herbst 30,4. Wie wohlbegründet übrigens diese Regel im Ganzen auch seyn mag, so zeigen sich doch einige sehr auffallende Ausnahmen, wie die folgenden Beispiele darthun.

Monat.	Aberdeen[1]	Carbeth[2]	Carlisle[3]
	Zoll.	Zoll.	Zoll.
Januar	2,34	3,887	1,830
Februar	1,04	3,689	2,313
März	1,80	3,341	2,058
April	2,15	1,542	0,391
Mai	1,04	3,404	1,633
Juni	1,98	2,768	2,130
Juli	3,43	3,083	4,747
August	3,87	3,227	2,912
September	2,69	3,822	2,036
October	1,56	3,191	0,440
November	2,78	3,536	0,438
December	2,96	3,595	3,381
Jahr	27,64	39,085	24,309
Winter	22,94	28,55	30,97
Frühling	18,05	21,22	16,79
Sommer	33,58	23,22	40,28
Herbst	25,43	26,99	11,96

Von diesen drei Orten ist Carlisle in dieser Beziehung wenig beweisend, indem die Beobachtungen bloſs vom Jahre 1805 sind, welches sich durch einen heitern und trocknen Herbst vorzüglich auszeichnete; desto auffallender ist Aberdeen wegen seiner nicht bedeutenden Entfernung von Edinburg und der Genauigkeit der Beobachtungen.

Das Uebergewicht der Herbstregen zeigt sich auch an folgenden Orten.

Monat.	Bordeaux		Rochelle		Vallerie		St. Maurice le Girard		Sparendam.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	5,2	2	4,8	1	8,5	1	3,7	1	0,0
Februar	1	10,2	1	9,3	1	10,4	3	2,1	0	7,7
März	1	5,1	1	7,1	1	5,7	0	8,0	1	6,6
April	1	8,8	1	6,0	1	7,5	0	8,0	2	9,5
Mai	2	0,5	1	8,4	1	11,0	1	2,0	2	0,1
Juni	2	5,8	1	5,1	1	3,0	2	1,4	1	7,3
Juli	1	9,2	1	8,0	1	8,8	1	0,0	5	2,3
August	1	7,3	1	3,1	1	4,5	1	5,2	1	3,2
Sept.	1	6,5	2	3,2	2	0,1	1	7,4	3	4,2
October	2	4,5	3	0,7	3	4,6	3	5,4	4	10,2
Novemb.	2	7,2	2	11,5	2	6,2	3	4,0	4	6,4
Decemb.	2	5,3	2	7,5	2	10,9	3	2,3	2	9,3
Jahr	24	3,6	24	2,7	23	9,2	23	1,5	31	6,8
Winter	27,7		28,2		27,3		33,2		14,0	
Frühling	21,4		19,7		21,1		10,8		20,1	
Sommer	24,1		17,9		18,3		19,7		25,5	
Herbst	26,7		34,2		33,3		36,3		40,4	

1 Zweijährige Beobacht. von Innes in Edinb. New Phil. Journ. N. XXI. 158.

2 Fünfjährige Beobachtungen in Edinb. Phil. Journ. N. X. p. 395.

3 Einjährige Beobachtungen von Pitt in G. XXIX. S. 223.

Monat.	Franecker		Rotterdam		Breda		Middelburg		Zwanenburg	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	10,0	1	6,0	1	7,8	2	6,6	1	5,0
Februar	2	0,3	1	0,1	1	6,4	1	7,8	1	6,5
März	1	6,0	1	0,9	1	2,2	1	6,6	1	5,3
April	1	3,6	1	7,6	1	1,3	0	11,1	1	5,8
Mai	2	0,0	2	0,1	2	1,7	1	1,4	1	6,8
Juni	2	3,5	1	6,4	1	10,8	2	1,6	2	2,0
Juli	3	1,7	2	1,9	2	9,2	1	11,4	2	6,3
August	2	9,6	2	6,2	1	2,8	3	11,0	3	0,0
Sept.	2	11,0	2	10,7	3	1,7	3	2,8	2	9,5
October	2	9,8	2	0,8	1	11,3	2	9,2	2	10,8
Novemb.	3	6,3	1	9,7	3	5,9	2	3,2	1	7,0
Decemb.	2	4,9	1	0,0	2	6,5	1	4,0	1	11,3
Jahr	28	6,7	21	2,4	24	7,6	25	4,7	24	4,3
Winter	21,9		16,5		23,2		21,8		20,1	
Frühling	16,8		22,3		18,0		14,1		18,4	
Sommer	28,8		29,3		23,9		31,5		31,6	
Herbst	32,5		31,9		34,9		32,6		29,9	

Das Mittel aus allen diesen Orten giebt auf 100 reducirt für den Winter 23,4, Frühling 18,3, Sommer 25,1, Herbst 33,3.

Nach Kämtz zerfällt Frankreich in zwei verschiedne Regionen, die nördliche, welche den SW.-Wind vom atlantischen Meere her erhält, und die südliche, die hiergegen durch die Pyrenäen geschützt, dagegen denen, die vom mittelländischen Meere herkommen, ausgesetzt ist; als Grenze nimmt er eine Linie an, welche nordöstlich von Bordeaux bis Orleans und von dort östlich bis an den Rhein geht. Zur erstern rechnet er folgende Orte, denen ich noch zwei andere gleichfalls dahin gehörige hinzufüge.

Monat.	Poitiers		Paris		Montmorency		Brüssel		Leyden [1]
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Zoll.
Januar	1	4,6	1	4,8	1	9,0	0	9,5	3,34
Februar	1	1,2	1	6,1	1	5,6	1	1,8	3,28
März	0	8,2	1	0,2	1	8,0	1	4,8	3,30
April	1	11,4	1	11,6	1	3,0	1	3,4	3,26
Mai	1	9,4	2	2,6	2	4,3	1	6,8	3,00
Juni	2	10,4	2	3,2	2	4,2	1	10,9	3,60
Juli	1	10,8	2	2,2	2	1,4	1	10,3	4,40
August	2	2,3	1	10,8	1	9,0	1	8,9	4,91
Sept.	2	7,8	1	10,4	1	10,6	2	0,1	5,01
October	1	6,8	1	4,4	1	7,5	1	6,1	5,30
Nov.	2	4,0	1	8,8	1	9,6	1	3,3	5,36
Dec.	1	9,3	1	4,7	1	4,9	1	4,9	5,12
Jahr	22	2,0	20	9,8	21	5,9	17	10,8	49,88
Winter	19,2		20,7		21,5		18,7		23,54
Frühling	19,9		25,0		24,9		23,7		19,16
Sommer	31,4		30,5		28,9		30,7		25,88
Herbst	29,5		23,8		24,7		26,9		31,41

Monat.	M. St. Vinoir		Cambray		Metz		Troyes		Maestricht [2]
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Zoll.
Januar	1	9,9	0	10,2	2	0,9	1	8,2	2,925
Februar	1	7,1	0	5,0	1	8,0	0	11,2	5,652
März	1	10,2	0	8,1	1	5,2	1	1,5	2,358
April	1	0,4	1	1,4	2	8,3	2	0,0	7,502
Mai	1	5,8	1	8,5	2	9,0	3	0,2	3,804
Juni	2	0,0	1	8,0	1	9,0	2	2,5	10,818
Juli	2	2,1	2	3,1	2	0,7	2	0,3	4,557
August	2	4,1	1	7,3	2	2,6	2	0,8	9,798
Sept.	2	1,0	1	7,3	3	2,5	1	8,5	7,128
October	2	2,8	1	9,2	1	8,6	0	11,7	4,804
Nov.	2	0,2	1	7,0	3	6,7	3	0,9	4,581
Dec.	3	3,7	0	9,4	2	1,5	1	6,9	6,083
Jahr	23	11,3	16	0,5	27	3,0	22	4,7	70,010
Winter	28,1		13,8		21,6		18,7		20,940
Frühling	18,2		21,9		25,2		27,4		19,518
Sommer	27,2		33,4		21,1		28,1		35,956
Herbst	26,5		30,9		31,1		25,8		23,586

1 Musschenbroek Introd. T. II. §. 2364.

2 Einjährige Beobachtungen von 1830. In Quetelet Correspond. astron. T. VII. p. 182.

Monat.	Mühlhausen		Strafsburg		Hagenau		Coblenz.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	0,3	1	3,2	2	1,2	1	1,1
Februar	1	11,1	1	4,4	1	4,8	0	8,2
März	1	3,3	1	6,2	1	8,3	1	7,1
April	3	3,1	1	5,9	1	9,0	1	5,6
Mai	2	11,7	3	0,4	1	10,5	1	11,3
Juni	3	2,4	3	0,1	2	8,5	2	4,0
Juli	1	9,5	3	2,8	1	1,2	2	5,5
August	3	1,4	2	5,7	3	2,2	2	6,1
Sept.	1	9,2	2	7,6	3	0,0	2	2,7
October	2	3,6	1	11,2	1	9,5	1	2,9
Nov.	3	3,3	2	1,7	3	3,3	1	8,4
Dec.	1	5,9	1	5,6	1	2,1	1	7,0
Jahr	28	4,8	25	6,8	25	0,6	20	9,9
Winter	19,2		16,0		18,7		16,2	
Frühling	26,4		23,6		21,2		24,0	
Sommer	28,5		34,1		28,0		35,0	
Herbst	25,9		26,3		32,0		24,8	

An allen diesen Orten sind die Sommerregen vorherrschend, mit alleiniger Ausnahme von Leyden, Metz und Hagenau, wo unbekannte, vielleicht locale, Ursachen den Herbstregen das Uebergewicht geben. Aus allen, auf 100 reducirt, erhält man im Mittel für den Winter 19,5, Frühling 23,4, Sommer 29,8, Herbst 27,3.

Deutschland, welches im Süden durch eine hohe Gebirgskette begrenzt ist, nördlich sich in eine ausgedehnte Ebene verläuft, mufs mehrfache Anomalieen zeigen. Kämtz theilt dasselbe in drei Regionen: die der norddeutschen Ebene, die Böhmische und die von Würtemberg und Baiern, jedoch sind zu wenige Beobachtungen vorhanden, um die Eigenthümlichkeiten dieser einzeln zu untersuchen, wohl aber ist ihre Zahl genügend zum Beweise des Vorherrschens der Sommerregen.

Monat	Mannheim		Heidelberg[1]	Carlsruhe		Stuttgart		Tübingen.	
	Z.	L.	Z.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	6,4	1,36	1	7,0	1	1,5	1	2,5
Februar	1	0,8	1,49	1	7,7	1	10,2	0	10,8
März	1	3,9	1,97	1	10,1	1	3,6	1	4,5
April	1	9,7	1,48	1	8,6	1	4,3	1	3,1
Mai	1	10,1	2,37	2	4,5	2	0,6	2	5,8
Juni	2	6,3	3,00	2	5,6	3	2,4	3	1,8
Juli	2	3,6	2,74	2	10,4	2	0,4	3	2,7
August	2	0,2	2,31	2	4,5	2	8,5	3	1,9
Sept.	2	0,5	1,91	2	2,4	2	7,4	2	2,5
October	1	10,3	1,57	2	0,0	1	10,0	1	10,3
Nov.	1	5,3	2,55	2	3,3	1	10,4	1	8,2
Dec.	1	3,0	1,99	2	2,5	1	9,7	1	4,7
Jahr	21	0,1	24,74	25	6,6	23	9,0	23	10,8
Winter	18,3		19,55	21,3		20,1		14,7	
Frühling	23,7		23,54	22,5		19,8		21,4	
Sommer	32,6		32,53	31,0		33,5		39,9	
Herbst	25,4		24,38	25,2		26,6		24,0	

Monat.	Würzburg		Giengen		Genkingen		Ulm.	
	Z.	L.	Z.	L.				
Januar	1	5,0	1	7,1				
Februar	1	6,3	1	1,1				
März	1	5,9	1	4,8				
April	1	1,2	1	4,1				
Mai	1	3,0	3	0,9				
Juni	1	7,1	3	16,7				
Juli	1	2,3	2	0,0				
August	1	2,4	3	2,9				
September	1	2,9	2	1,1				
October	0	10,9	1	9,4				
November	1	0,1	2	1,6				
December	0	10,6	1	4,1	Z.	L.	Z.	L.
Jahr	14	0,7	25	5,8	35	5,7	25	1,9
Winter	25,8		15,8		17,3		21,3	
Frühling	25,9		22,8		27,0		19,5	
Sommer	26,9		37,8		32,9		36,6	
Herbst	21,4		23,6		22,7		22,6	

1 Die Gröfsen der hiesigen Regenmengen sind von mir aus eigenen, 14 Jahre hindurch von 1819 bis 1832 angestellten Beobachtungen entnommen. Die geringste Regenmenge hatte das Jahr 1822 mit 15,40 Zoll, die stärkste 1824 von 33,64 Zoll, das berühmte Regenjahr 1829 hatte dagegen nur 27,8 Zoll. Das Uebergewicht der Herbstregen folgt aus den gewöhnlich starken und anhaltenden Regen im Anfange Novembers, welcher zwar hauptsächlich 1824 ausgezeichnet

Monat.	Regensburg Z.	L.	Tegernsee Z.	L.	Andex Z.	L.	Peifsenberg. Z.	L.
Januar	1	3,2	2	2,7	2	6,0	0	10,0
Februar	1	2,1	3	0,3	1	4,9	0	11,0
März	1	0,3	2	5,1	2	2,2	0	9,5
April	0	11,4	2	4,1	2	0,0	1	0,5
Mai	1	8,9	3	4,2	2	0,2	2	5,4
Juni	2	5,1	6	9,8	4	4,7	3	4,8
Juli	3	2,4	6	8,0	3	5,0	3	6,8
August	2	9,8	6	0,4	4	0,3	2	10,8
September	1	11,7	3	5,4	1	3,5	1	7,8
October	1	5,4	3	6,0	1	3,8	1	4,6
November	1	4,8	1	11,6	1	4,4	0	10,0
December	1	7,7	1	11,1	1	4,9	0	11,1
Jahr	21	0,8	43	9,6	27	3,9	20	8,3
Winter	19,3		16,4		19,5		12,9	
Frühling	17,7		18,5		22,7		20,7	
Sommer	40,1		44,7		43,3		47,7	
Herbst	22,9		20,4		14,5		18,7	

Monat.	Augsburg Z.	L.	Göttingen Z.	L.	Erfurt Z.	L.	Sagan Z.	L.	Prag. Z.	L.
Januar	2	4,8	1	2,5	0	6,3	0	11,7	0	5,6
Februar	2	1,2	1	7,6	0	10,0	1	1,1	1	2,2
März	2	3,5	1	5,6	0	6,7	1	0,1	0	8,0
April	1	9,0	1	9,0	0	11,3	0	11,1	0	9,3
Mai	4	4,6	1	4,3	1	2,7	1	0,0	2	1,5
Juni	4	0,0	2	5,1	1	2,0	1	10,1	0	5,4
Juli	4	11,4	3	1,0	1	9,7	2	2,2	1	3,7
August	3	11,7	3	5,1	2	2,2	1	10,0	3	6,3
September	3	4,8	2	8,6	1	1,2	1	1,8	1	4,4
October	3	4,3	2	0,2	0	10,5	1	5,2	1	5,3
November	2	10,4	2	0,8	0	9,1	1	1,5	1	8,9
December	2	2,6	1	8,9	0	7,1	1	2,9	0	4,1
Jahr	36	8,3	24	10,7	12	6,8	15	9,7	15	4,7
Winter	18,3		18,4		15,5		20,9		12,9	
Frühling	23,0		18,1		21,7		18,5		23,2	
Sommer	35,2		35,9		41,0		37,1		34,3	
Herbst	23,5		27,6		21,8		23,5		29,6	

An allen diesen Orten sind die Sommerregen die stärksten, die Winterregen dagegen am kleinsten, mit alleiniger Ausnahme von Würzburg[1], worüber zu entscheiden künftigen

war, aber auch in der Regel nicht regenarm ist. Ohne Regen war blofs der Januar 1829 und 1830, der Februar und October 1832, der November 1828 und der December 1822 und 1829.

1 Kämtz stimmt mit Gasparin überein; beide entnahmen die Be-

Beobachtungen nach Kämtz überlassen bleiben soll. Inzwischen haben wir auch in den übrigen Zusammenstellungen mehrere einzelne, auf Localursachen beruhende Ausnahmen angetroffen. Die sämmtlichen Gröfsen, auf 100 reducirt, geben folgende Verhältnisse: Winter 18,2, Frühling 21,6, Sommer 37,1, Herbst 23,2.

Dafs die Regen im Allgemeinen aus den Luftmassen niedergeschlagen werden, die vom Meere und hauptsächlich aus wärmern Gegenden herbeiströmen, ist wohl keinem Zweifel unterworfen, auch läfst sich nach triftigen Gründen annehmen, dafs diese, die anfangs in den höhern Regionen der Atmosphäre fliefsen, sich später über dem europäischen Continente tiefer herabsenken. Kämtz hat indefs scharfsinnig noch eine andere Bedingung aufgefunden, welche gleichfalls sehr wesentlich ist, indem er annimmt, dafs die Regen erzeugenden Luftmassen im Sommer höher gehn, als im Winter, und daher zu jener Zeit durch örtliche Bedingungen nicht so sehr gehindert werden, ihren Wassergehalt abzugeben, als in dieser. Hiernach findet er also für diejenigen Orte, die niedriger als 2000 F. hoch liegen, und für solche, die höher sind, ein verschiedenes Verhältnifs, nämlich die Frühlings- und Sommerregen an den letzteren gröfser. Zur Vergleichung nimmt er Stuttgart 847 F., Tübingen 1010 F., Regensburg 1043 F., Ulm 1432 F. und Augsburg 1464 F. für jene; Tegernsee 2263 F., Andex 2282 F., Genkingen 2400 F. und Peifsenberg 3087 F. für diese[1], wozu ich als dritte Gruppe Mannheim 258 F., Heidelberg 313 F. und Carlsruhe 361 F. setze und hiernach folgende drei Gruppen finde.

---

stimmungen aus den Mannheimer Ephemeriden. Nach Schübler dagegen (Grundsätze der Meteorologie S. 136.) sind die Frühlingsregen die stärksten, denn er hat folgende Verhältnifszahlen: Winter 1,1, Frühling 1,83, Sommer 1,15, Herbst 0,84. Man findet überhaupt in den Angaben grofse Verschiedenheiten. Unter andern hat Schübler für Mannheim 145 Regentage und 1,63 Lin. tägl. mittlere Regenhöhe, welches im Ganzen nur 19,7 Z. Regen giebt. Es fehlt also noch sehr an zuverlässigen Beobachtungen; inzwischen sind die Carlsruher, meine eigenen und die Tübinger gewifs richtig und bestätigen also das aufgestellte Gesetz.

1 Die angenommenen Höhen stimmen mit den oben Bd. V. S. 339. angegebenen nicht sämmtlich genau überein, indefs behalte ich die

	Unter 1000 F.	Unter 2000 F.	Ueber 2000 F.
Winter	19,72	18,2	16,5
Frühling	23,25	20,7	22,2
Sommer	32,04	37,2	42,2
Herbst	24,99	23,8	19,1

Es würde sehr interessant seyn, das angegebene Verhältnifs weiter im Innern des europäischen Continents aufzusuchen, allein hierzu fehlen die Beobachtungen. Einige sind jedoch vorhanden, die ich mit denen aus Skandinavien verbinde, um einige Folgerungen daraus abzuleiten.

Monat.	Ofen		Petersburg		Bergen		Kopenhagen		Apenrode [1].
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.
Januar	1	2,2	0	8,4	7	3,4	0	10,7	2,152
Februar	0	7,9	0	8,9	6	10,8	0	11,2	0,555
März	1	7,6	0	9,5	6	9,7	0	8,1	0,238
April	1	1,7	1	0,7	4	3,1	0	10,5	1,340
Mai	1	3,4	1	3,8	3	8,6	1	1,4	0,491
Juni	1	3,8	2	1,0	4	7,6	1	7,3	0,326
Juli	1	4,3	2	2,6	4	11,0	2	2,2	1,579
August	1	6,4	2	0,3	7	10,9	2	8,8	2,936
Sept.	1	4,6	2	5,7	10	3,1	1	9,1	0,773
October	1	6,8	1	8,0	8	8,2	1	5,7	1,162
Nov.	1	9,2	1	2,0	9	11,1	1	7,0	4,227
Dec.	1	2,6	0	10,3	7	10,5	1	5,8	5,292
Jahr	16	0,5	17	1,2	83	2,0	17	3,8	21,071
Winter	19,1		13,6		26,6		19,1		37,962
Frühling	25,3		19,4		17,9		15,4		9,820
Sommer	26,2		36,5		21,0		37,7		22,974
Herbst	29,4		30,5		34,5		27,8		29,244

hier vorgefundenen bei, obgleich jene wohl richtiger sind. Zugleich ist zu berücksichtigen, dafs die in der genannten Tabelle befindlichen Höhenpuncte sich auf den Spiegel der Flüsse oder das Strafsenpflaster, aber nicht auf den Stand des Regenmafses beziehn.

1 Einjährige Beobachtungen von Neuber in Collectanea meteorologica. Hafniae 1829. 4.

Monat.	Lund		Stockholm		Upsala		Åbo.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	0	10,9	0	10,5	1	0,9	1	4,0
Februar	1	0,3	0	7,4	0	8,9	1	5,0
März	0	9,2	0	7,0	0	10,0	1	7,6
April	1	1,2	0	7,5	1	4,0	1	5,0
Mai	1	2,2	1	4,0	1	4,0	1	4,4
Juni	1	6,7	1	5,3	1	8,6	1	4,0
Juli	2	4,0	2	1,8	1	11,3	2	5,1
August	2	1,0	3	8,4	1	9,7	3	0,0
September	1	11,9	2	10,6	1	9,8	3	0,0
October	2	0,6	1	10,4	1	6,4	2	11,5
November	1	9,3	1	9,2	1	5,4	2	8,8
December	1	4,0	1	4,1	1	0,9	1	6,3
Jahr	18	1,3	19	2,2	16	7,9	24	1,7
Winter	18,0		14,8		17,4		17,7	
Frühling	16,9		13,3		21,0		18,3	
Sommer	33,0		38,0		32,8		28,0	
Herbst	32,1		33,9		28,8		36,0	

Unter allen diesen Orten ist Bergen am ausgezeichnetsten wegen seiner aufserordentlichen, den tropischen Ländern nahe kommenden Regenmenge, die der Küste Norwegens überhaupt eigenthümlich zuzugehören scheint und mit dem dortigen milden Klima im innigsten Zusammenhange steht. Man ersieht bald, dafs die Ursache hiervon in den warmen, mit Wasserdampf übersättigten Luftmassen liegt, welche über dem weit ausgedehnten Golfstrome aufgestiegen durch südwestliche Winde herbeigetrieben werden und sich über Bergens Küsten, ebenso wie über der Insel Mageröe am Nordkap unter 71° N. B., zu steten dichten Nebeln und Regen verdichten. Diese und westliche Winde sind aufserdem in Europa im Herbste vorherrschend, und diejenigen Länder, denen die Luftmassen von den im Sommer erwärmten Meeren zugeführt werden, müssen daher im Herbste überwiegende Regenmengen haben. Wir finden diese daher zu Ofen, Bergen und Åbo am gröfsten, indem sie an den erstern Ort vom adriatischen Meere aus gelangen, ohne über die Karpathen zu dringen, und ich bin diesemnach nicht geneigt, das Uebergewicht der Herbstregen zu Ofen mit Kämtz aus einer Mangelhaftigkeit der Beobachtungen abzuleiten. Wo der unmittelbare Einflufs dieser Winde aufhört, kommt sogleich das europäische Continentalklima mit überwiegenden Sommerregen zum Vorschein, weil die in dieser

Jahreszeit über den Ebenen des europäischen Continents mit Wasserdampf überladenen, durch südliche und südwestliche Luftströmungen herbeigeführten Luftmassen in jenen kältern Gegenden ihren Wassergehalt durch Abkühlung abgeben, wie sich namentlich am deutlichsten zu Petersburg und an den übrigen Orten zeigt, so dafs also alle bisher mitgetheilte Resultate mit wenigen, durch eigenthümliche örtliche Einflüsse erzeugten Ausnahmen einen genauen Zusammenhang erkennen lassen.

Aus dem südlichen Europa ist eine grofse Menge von Beobachtungen vorhanden, aus denen sich das Hauptgesetz ableiten läfst. Ebenso wie im nordwestlichen Theile finden wir auch hier die Herbstregen vorherrschend, und wir können also annehmen, dafs dieses überall in denjenigen Gegenden der Fall ist, denen die vom Meere aufsteigenden Luftmassen ungehindert zugeführt werden. Wohl möglich ist es hierbei, dafs nach der Ansicht von Kämtz die von der Sahara herkommenden Luftströme entscheidend wirken, einfacher aber scheint es mir anzunehmen, dafs die bedingenden Ursachen näher und zwar in dem Einflusse des mittelländischen Meers zu suchen sind. Im Sommer nämlich werden die Länder zu sehr erwärmt, als dafs die vom kältern Meere herkommenden Luftmassen ihren Wassergehalt verlieren könnten, im Herbste aber, wenn das langsamer sich erwärmende Meer seine höchste Temperatur erreicht hat, die der Länder aber, hauptsächlich wegen abnehmender Tagslänge, bereits herabzugehn anfängt, zugleich auch wenn in windstillen Sommertagen die dampfhaltigen Luftschichten anhaltend zu einer bedeutenden Höhe aufgestiegen sind, dann werden die Regen am häufigsten seyn. Oertliche Ursachen ändern dieses allgemeine Gesetz ab, namentlich hohe Gebirgsmassen, und insbesondere mufs es sehr natürlich erscheinen, dafs die von den beeisten Alpenspitzen nach pneumatischen Gesetzen herabsinkenden kalten Luftmassen in den an den Orten selbst aufgestiegenen, oder durch schwache Winde herbeigeführten, wärmeren und dampfhaltigen einen Niederschlag erzeugen, sonach also Sommerregen vorherrschen, weil ein solcher Procefs in dieser Jahreszeit am leichtesten statt finden kann Um zu zeigen, wie diese theoretische Betrachtung durch die Erfahrung bestätigt wird, bediene ich mich der lehrreichen Zusammenstellung der Beobachtungen aus dem südlichen Frankreich

und der Schweiz, welche sich in dem mehrgenannten Werke von Kämtz[1] befindet, woraus sich dann ergeben wird, wie die Herbstregen des erstern Landes im zweiten allmälig zu Sommerregen übergehn.

Monat.	Beziers Z.	Beziers L.	Montpellier Z.	Montpellier L.	Marseille Z.	Marseille L.	Toulon Z.	Toulon L.
Januar	1	9,8	2	10,0	1	5,7	2	0,1
Februar	1	0,6	1	8,2	0	10,6	1	0,1
März	1	5,8	2	3,4	1	8,5	1	2,8
April	1	4,9	2	2,7	1	5,4	1	5,9
Mai	1	4,8	2	3,4	1	5,3	1	5,8
Juni	1	2,0	1	10,2	1	2,3	0	7,9
Juli	0	3,3	0	9,8	0	6,8	0	4,1
August	0	5,8	1	2,8	0	9,9	0	7,6
September	0	11,2	2	8,4	2	11,5	2	5,6
October	1	2,0	5	2,3	3	5,3	2	7,9
November	3	0,7	3	2,7	2	9,4	2	6,1
December	2	0,0	4	1,0	1	10,8	1	0,0
Jahr	16	2,9	30	4,9	20	7,5	17	5,9
Winter	29,9		28,3		20,8		23,0	
Frühling	26,4		22,3		22,3		24,1	
Sommer	11,8		12,8		12,5		9,3	
Herbst	31,9		36,6		44,4		43,6	

Monat.	Arles Z.	Arles L.	Nimes Z.	Nimes L.	Manosque Z.	Manosque L.	Orange Z.	Orange L.
Januar	1	4,0	1	7,7	0	8,0	1	3,7
Februar	2	0,3	1	10,0	1	2,5	1	11,2
März	2	7,2	1	8,9	2	4,3	1	6,2
April	1	0,0	1	10,2	2	7,8	2	3,8
Mai	1	6,7	2	1,1	2	6,3	2	2,6
Juni	0	7,2	1	0,6	0	11,2	1	10,8
Juli	0	4,3	1	0,1	0	3,7	1	4,4
August	1	4,8	1	2,9	0	11,2	1	8,3
September	2	0,3	3	4,8	2	5,8	3	11,7
October	3	10,2	2	4,6	3	8,7	4	4,9
November	2	8,8	3	8,1	2	1,0	3	4,9
December	2	9,7	1	9,8	2	1,3	2	4,7
Jahr	22	3,5	23	8,8	21	11,8	28	5,2
Winter	27,6		22,3		18,1		19,8	
Frühling	23,1		24,0		34,2		21,3	
Sommer	10,5		13,9		9,9		17,4	
Herbst	38,8		39,8		37,8		41,5	

1 Die Quellen finden sich daselbst angegeben. Sie sind hauptsächlich die mannheimer Ephemeriden, welche auch Gasparin benutzt hat, Cotte's Memoiren und einzelne Abhandlungen in der Bibl. univ.

Monat.	Viviers		Joyeuse		Bourg en Bresse		Dijon		Toulouse	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	5,7	3	6,7	3	5,0	1	8,1	1	8,8
Februar	1	8,5	2	10,6	3	0,0	0	11,2	1	6,2
März	1	11,1	2	3,8	3	10,0	1	5,5	1	11,1
April	2	8,2	3	6,7	2	9,0	2	0,0	1	11,5
Mai	2	11,2	5	2,8	4	0,9	2	7,8	2	3,9
Juni	2	6,8	2	5,0	3	7,0	2	0,0	2	10,2
Juli	1	10,6	2	7,1	3	3,0	3	3,3	1	6,3
August	2	4,2	2	8,6	3	9,0	1	4,0	1	3,7
Sept.	4	1,7	5	7,2	3	11,0	1	5,3	2	6,8
October	4	8,9	7	10,3	4	7,0	3	2,7	2	1,9
Nov.	4	2,2	5	9,7	4	7,0	2	3,1	2	0,9
Dec.	2	4,8	3	2,6	2	7,0	1	7,9	1	8,6
Jahr	33	11,9	47	8,0	43	3,9	23	10,9	23	7,9
Winter	19,4		20,3		20,8		17,9		21,0	
Frühling	22,2		23,1		24,6		25,6		26,2	
Sommer	20,0		16,2		24,4		27,6		24,0	
Herbst	38,4		40,4		30,2		28,9		28,8	

Monat.	Genf		Lausanne		Bern		Zürich	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	2,6	1	11,1	2	0,8	2	1,8
Februar	1	9,9	2	0,4	4	2,5	2	8,8
März	1	9,3	2	3,7	2	4,0	2	4,6
April	1	10,6	2	1,6	2	5,4	2	9,0
Mai	2	10,0	3	1,4	3	10,5	2	5,6
Juni	2	11,8	4	6,9	5	4,7	3	4,1
Juli	3	2,9	3	7,6	4	1,4	3	11,7
August	2	7,5	5	9,2	5	8,0	3	4,8
September	2	5,9	2	6,3	3	2,1	2	4,1
October	2	10,4	5	0,7	4	7,6	3	7,8
November	2	7,6	2	10,8	2	7,3	1	4,2
December	2	4,8	1	9,4	2	9,1	1	7,6
Jahr	29	9,3	37	9,1	43	3,4	32	2,1
Winter	21,6		15,2		20,9		20,3	
Frühling	21,8		20,0		20,0		23,6	
Sommer	29,7		37,0		35,1		33,3	
Herbst	26,9		27,8		24,0		22,8	

Das angegebene Gesetz wird durch die hier mitgetheilten Thatsachen genügend bestätigt; auch macht die Erklärung des ungleichen Verhältnisses zwischen den Sommerregen und Winterregen an den verschiedenen Orten nach der hierüber aufgestellten Vermuthung keine Schwierigkeiten. Auffallend finde

ich dagegen die geringe absolute Regenmenge, z. B. in Beziers, Marseille und Toulon, ungeachtet ihrer südlichen Lage, was ich mir nicht wohl anders als aus der Hypothese erklären kann, dafs die vom Meere aufsteigenden dampfhaltigen Luftmassen in zu grofsen Höhen strömen, als dafs sie über flachen Gegenden in nicht grofser Entfernung von der Küste sich ihres Wassergehalts über den sehr erwärmten Küsten entledigen könnten [1]. Ungleich leichter ist die grofse Regenmenge zu Joyeuse erklärbar, wo ungefähr 3 Meilen von der Stadt entfernt sich der Tanargue in einer Richtung von O. nach W. bis zu 4500 F. Höhe erhebt, von welchem daher die kalten Luftschichten herabströmen, sich mit den in ihrem Fortgange von Süden her gehinderten Luftmassen vereinigen und die bedeutenden Niederschläge erzeugen. Das arithmetische Mittel aus den ersten 13 Orten giebt für das südliche Frankreich in Procenten für den Winter 22,4, den Frühling 24,57, den Sommer 16,14, den Herbst 37,01 mit einem bedeutenden Uebergewichte der Winterregen über die Sommerregen, aus den 4 letzten erhält man aber für den Winter 19,5, den Frühling 21,35, den Sommer 33,95, den Herbst 25,60 mit überwiegendem Vorherrschen der Sommerregen.

In Italien vereinigen sich die mannigfaltigsten Bedingungen, welche auf die Regenmengen an den verschiednen Orten einen entscheidenden Einflufs ausüben. Das Land ist an beiden Seiten seiner Länge nach von Meeren begrenzt, im Norden durch eine zusammenhängende Kette der höchsten europäischen Berge, und aufser den zu einer bedeutenden Länge sich erstreckenden Appenninen hat es noch einzelne Berge von nicht unbeträchtlicher Höhe, den Einflufs des benachbarten beeisten Aetnagipfels nicht zu erwähnen. Es darf uns daher nicht zu sehr wundern, dafs nach den verschiednen herrschenden Winden und dem Einflusse, welchen die

---

1 Schouw a. a. O. findet die Ursache im Mangel vorhandner Gebirge, desgleichen in dem Umstande, dafs die trocknern africanischen Luftmassen der europäischen Südküste zugeführt werden. Ungleich wichtiger aber ist sicher die stärkere Erwärmung der Küsten als die des Meers, insbesondere wenn man berüchsichtigt, dafs nach Dove's richtiger Ansicht die kältern Luftströmungen tiefer gehend die wärmern aufrollen, die letztern aber sich über die erstern hinwälzen.

eben genannten Bedingungen auf die durch diese herbeigeführten Luftmassen ausüben, bei einer im Ganzen nicht übermäfsig grofsen Regenmenge einzelne ungewöhnlich starke Regengüsse statt finden und manche Jahre abwechselnd sich eben so sehr durch anhaltende Dürre als durch langdauernde Nässe auszeichnen. Auch hier kommen daher die so eben in Beziehung auf das südliche Frankreich angegebenen wirkenden Ursachen in Betrachtung, und zwar um so mehr, als Italien an jeder Seite von einem Meere begrenzt ist, die im Norden liegenden Berge aber weit höher sind, als es deren im südlichen Frankreich giebt. Rücksichtlich des Einflusses der Berge ist man übrigens schon lange gewohnt, anzunehmen, dafs die dampfhaltigen Luftmassen durch sie aufgehalten sich ihres Wassers entledigen, weniger aber pflegt man auf die von ihnen herkommenden kalten Luftschichten ein Gewicht zu legen, die in die heifsen Ebenen herabsinkend dort gleichfalls Niederschläge erzeugen, beide Ursachen scheinen mir aber in Italien Beachtung zu verdienen. Schouw[1] ist wohl ohne Zweifel derjenige, welcher den verschiedenen, die Regenzeiten und Regenmengen dort bedingenden Ursachen die meiste Aufmerksamkeit gewidmet hat. Nach ihm beträgt die in den Ebenen des venetianisch-lombardischen Königreichs am südlichen Abhange der Alpen fallende Regenmenge 54 bis 55 Zoll, an einigen Orten sogar 80 bis 90 Zoll, in den ausgedehnten Ebenen aber nicht mehr als 36 bis 37 Zoll, und geht dort nirgends über 45 Z. hinaus; in den südlichern Ebenen am Fufse der Appenninen steigt sie nur bis 28 Z. und nirgends über 32 Zoll. Aufserdem ist die Regenmenge an der östlichen Seite der lombardischen Ebene gröfser als an der westlichen, indem sie auf der Ostseite des Garda-Sees bis 59 Zoll steigt, während sie auf der Westseite nur bis 40 Zoll beträgt. Am mittäglichen Fufse der Appenninen, wo dieses Gebirge eine östliche Richtung annimmt, so wie an der Küste von Genua ist die Regenmenge gröfser, als am entgegengesetzten nördli-

---

1 Ferussac Bullet. 1826. Mai p. 344. ein Auszug aus Oersted Oversigt cet. 1825. Vergl. Schouw Pflanzengeographie. S. 385. Kämtz I. 472. führt aufserdem die Tidsskrift for Naturvidenskaberne N. 12. p. 329. an, die mir nicht zu Gebote steht. Indefs befindet sich ein Auszug des wesentlichsten Inhalts in Hertha Th. V. S. 90.

chen, und erreicht 42 bis 43 Zoll Höhe. Nach seiner Ansicht bringen die westlichen und südlichen Winde, welche aus wärmern nnd feuchtern Gegenden kommen, ebenso wie der SW.-Wind, welcher die Eigenschaften beider vereinigt, den meisten Regen. Hieraus werden die starken Regen an der Südseite der Appenninen erklärlich, die im mittäglichen Theile der Lombardei geringer seyn müssen, weil die dort ankommenden Luftmassen bereits einen grofsen Theil ihres Wassergehalts abgegeben haben. Die von hier aus den Alpen zufliefsenden Luftmassen haben theils noch eine beträchtliche Menge Wasserdampf, theils nehmen sie neuen auf, und bedingen hierdurch die starken Regen am Fufse dieser Gebirge, ebenso wie die durch keine Gebirge aufgehaltenen, mit südlichen Winden vom adriatischen Meere herkommenden die grofse Regenmenge im östlichen Theile der Lombardei bedingen. Hier finden also die nämlichen Ursachen statt als diejenigen, welche bewirken, dafs auf der flachen Südküste Frankreichs die Regenmengen gering, an der westlichen Seite der Alpen dagegen grofs und an ihrem nördlichen Abhange wieder gering sind. Von Genua und Florenz an bis zur südlichen Spitze Italiens und in Sicilien giebt es wenig Regen, weil die Luft von den trocknen africanischen Ebenen dorthin strömt, eine Hypothese, welcher ich um so mehr Beifall gebe, als sie durch das Vorherrschen des Sirocco-Winds in jenen Gegenden unterstützt wird. In Beziehung auf die Jahreszeiten ist die Regenmenge im nördlichen Italien in der letzten Hälfte des Jahrs am stärksten, jedoch ohne einen auffallenden Unterschied der verschiedenen Jahreszeiten; in Mittel- und Unteritalien hat aber der Herbst und der Winter das Uebergewicht. In Bologna unter andern erreicht der Sommerregen nicht die Hälfte des Herbstregens und bleibt unter der Menge des Winterregens, und in Pisa regnet es viermal mehr im Herbst und zweimal mehr im Winter, als im Sommer.

Hiermit sehr genau übereinstimmende Resultate ergeben sich aus den nachfolgenden tabellarischen Uebersichten, die ich dem mehrgenannten Werke von Kämtz entlehne[1].

---

1 Meteorologie Th. I. S. 476 ff. Die daselbst näher bezeichneten Quellen sind Toaldo in den mannheimer Ephemeriden für Florenz, Genua, Bologna, Chioja, Rovigo, Trient, Vicenza, Marostica,

Monat.	Palermo		Rom		Siena		Florenz	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	10,0	2	7,1	1	8,0	1	10,6
Februar	2	2,6	2	7,0	1	5,7	3	8,2
März	2	11,8	2	10,7	3	1,0	3	10,2
April	1	3,4	2	3,5	2	2,1	2	6,8
Mai	0	9,5	2	1,4	3	1,5	1	8,5
Juni	0	5,7	1	5,0	2	6,0	1	3,2
Juli	0	2,6	0	5,1	2	2,1	2	2,3
August	0	5,4	1	0,1	1	2,0	1	6,4
September	2	0,6	1	8,9	3	9,7	3	3,8
October	2	3,4	4	2,3	3	8,4	5	1,4
November	2	1,4	4	1,5	4	0,0	3	4,8
December	3	1,1	3	11,1	3	2,1	8	3,3
Jahr	20	9,5	29	3,7	32	0,6	38	9,5
Winter	39,1		31,0		19,7		35,7	
Frühling	24,3		24,9		26,2		20,9	
Sommer	5,5		9,7		18,2		12,9	
Herbst	31,1		34,3		36,9		30,5	

Monat.	Genua		Bologna		Chioja		Rovigo	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	3	3,6	3	3,4	2	10,6	4	0,6
Februar	2	6,8	3	1,4	2	0,0	2	3,3
März	8	0,8	3	3,3	2	0,6	3	3,1
April	2	7,6	1	7,4	1	7,6	2	3,2
Mai	2	0,3	0	4,7	2	9,7	2	11,0
Juni	0	4,4	0	7,8	3	2,3	1	10,0
Juli	0	8,7	0	3,8	1	10,3	1	0,8
August	2	11,9	1	2,4	1	0,2	1	5,5
September	4	11,0	2	11,5	6	0,0	3	10,0
October	7	2,4	4	0,4	4	2,4	3	11,1
November	3	5,0	4	7,0	1	4,4	0	8,4
December	6	2,7	3	8,3	1	8,8	3	2,9
Jahr	44	5,2	29	1,4	30	8,9	30	9,9
Winter	27,2		34,7		21,5		31,0	
Frühling	28,6		18,1		21,1		27,4	
Sommer	9,2		7,4		19,4		14,3	
Herbst	35,0		39,8		38,0		27,3	

Udine, Conegliano, Tolmezzo, Brescia, Bergamo und Salo; für Padua im Journ. de Ph. T. X.; Calandrelli in G. XXIV. 239. für Rom; Cotte in Mém. T. II. für Siena und Mantua; Scina in Balbi Essay stat, sur Portugal T. I. p. 119. für Palermo; Cagnoli in Mem. della Soc. Ital. für Verona; Cesaris ebend. T. XVIII. für Mailand; Bonin in Mém. de Turin pour 1805 — 1808 für Turin und Gasparin in Bibl. un. a. a. O. für St. Bernhard.

Monat.	Vicenza		Padua		Verona		Marostica		Trient	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	3	7,3	2	2,2	2	7,5	1	10,8	0	5,8
Februar	2	6,9	1	9,6	1	5,1	1	10,9	1	8,5
März	4	4,8	2	5,8	2	5,6	4	5,4	5	2,1
April	2	8,3	3	3,3	2	9,7	3	0,2	3	10,9
Mai	2	11,3	3	4,5	3	6,2	3	9,6	1	5,6
Juni	3	6,1	3	5,7	2	11,8	6	3,8	3	0,7
Juli	1	11,9	2	8,0	3	4,4	2	0,4	0	7,3
August	2	10,4	2	8,4	2	8,3	4	8,3	2	6,6
September	6	1,6	3	1,0	2	9,8	4	5,8	2	7,9
October	5	5,3	4	1,3	4	9,1	4	3,8	3	2,5
November	1	2,8	2	9,6	2	9,8	0	11,3	5	2,6
December	3	8,0	2	7,2	4	3,4	3	0,2	3	3,7
Jahr	41	0,7	34	6,6	34	6,7	40	10,5	33	4,2
Winter	24,0		19,0		18,3		16,7		16,5	
Frühling	24,4		26,4		25,4		27,6		31,6	
Sommer	20,4		25,6		26,1		31,9		18,7	
Herbst	31,2		29,0		30,2		23,8		33,2	

Monat	Udine		Conegliano		Tolmezzo		Mantua		Mailand	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	3	10,7	2	7,9	4	0,2	2	3,0	2	8,1
Februar	5	2,2	2	4,6	3	11,1	1	7,0	1	10,9
März	7	1,2	6	9,7	13	9,0	2	2,0	2	2,0
April	4	11,2	2	7,6	4	5,6	2	7,0	2	10,8
Mai	3	11,0	3	4,8	4	5,9	3	1,0	3	6,1
Juni	7	10,1	6	1,2	8	3,3	1	7,0	3	0,1
Juli	3	8,8	2	4,2	3	10,0	2	6,0	2	7,7
August	4	0,9	3	10,5	4	9,3	2	7,0	2	9,8
Sept.	4	7,5	4	5,9	4	11,1	2	2,0	3	0,0
October	8	4,4	5	10,7	7	4,5	2	6,0	3	10,6
Nov.	1	11,8	0	10,3	1	2,4	3	3,0	4	1,3
Dec.	3	11,0	2	9,6	9	0,1	2	5,0	2	10,7
Jahr	59	6,8	44	3,0	70	0,5	28	8,0	35	6,1
Winter	21,8		17,9		24,2		21,8		21,1	
Frühling	26,8		29,0		32,4		27,3		24,1	
Sommer	26,2		28,0		24,1		23,0		23,9	
Herbst	25,2		25,1		19,3		27,9		30,9	

Monat.	Turin		Brescia		Bergamo		Salo		St. Bernhard	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Jan.	2	5,0	1	9,5	1	11,0	1	2,5	4	7,7
Febr.	0	9,6	2	1,0	1	8,8	1	2,5	6	11,7
März	2	1,1	4	2,0	3	10,6	4	10,6	5	8,0
April	4	3,2	2	0,5	1	8,8	1	11,6	4	4,4
Mai	4	1,1	3	7,5	4	7,1	4	4,7	2	11,5
Juni	4	4,1	3	6,0	3	8,9	3	2,7	3	6,6
Juli	3	5,1	2	5,5	2	10,8	1	1,6	5	2,5
August	2	7,3	5	5,0	7	11,0	5	6,2	5	6,8
Septemb.	2	6,4	4	10,0	4	4,8	7	11,0	4	3,4
October	3	4,0	5	4,5	5	4,2	3	4,8	3	3,7
Novemb.	2	11,8	0	9,3	1	7,5	0	9,9	3	4,2
Decemb.	1	11,6	4	11,5	3	9,5	3	8,7	4	11,5
Jahr	24	10,3	41	0,3	43	7,0	39	4,8	54	10,0
Winter	14,9		21,5		17,1		15,6		30,2	
Frühling	30,0		24,0		23,4		28,5		23,7	
Sommer	29,9		27,7		33,4		25,1		26,1	
Herbst	25,2		26,8		26,1		30,8		20,0	

Inwiefern die nach den Jahreszeiten verschiedenen Regenmengen einem allgemeinen Gesetze folgen, zugleich aber durch eine Menge örtlicher Einflüsse bedingt werden, ergiebt sich aus der Uebersicht dieser Zusammenstellungen evident. In Beziehung auf einzelne Abweichungen bemerkt Kämtz sehr richtig, dafs die Beobachtungen nicht unbedingtes Vertrauen verdienen, hauptsächlich aber wird nicht selten das eigentliche Gesetz durch zufällige ungewöhnlich starke Regen, die als Ausnahmen in jeder Jahreszeit statt finden können, um so mehr verändert, je kürzer die Zeit der Beobachtungen ist. Unter andern fiel zu Verona im April 1788 nur 6,1 L. Wasser, in dem nämlichen Monate 1814 aber 12 Z. 7 L. und zu Mailand im Februar 1824 nicht weniger als 7 Z., im folgenden Jahre aber kein Tropfen. Der Einflufs einer einzigen solchen Ausnahme kann erst durch eine lange Reihe von Jahren ausgeglichen werden, aber solche vollständige Beobachtungen stehn nur selten zu Gebote, weswegen auch die arithmetischen Mittel aus einer kürzern oder längern Reihe von Jahren, da wo sie verglichen werden können, nicht unbedeutende Verschiedenheiten zeigen.

Für die aufser-europäischen Länder fehlen uns fast durchaus alle zu einer solchen Untersuchung erforderliche Beobach-

tungen, die ohnehin an Wichtigkeit verliert, wenn sie sich nicht über einen etwas bedeutenden Flächenraum erstreckt, so dafs eine Zusammenstellung der Regenmengen mit den eigenthümlichen örtlichen Verschiedenheiten zur Auffindung allgemeiner Gesetze führt. Blofs aus Nordamerica besitzen wir von fünf Orten Aufzeichnungen, die jedoch bei zweien nicht mehr als zwei Jahre umfassen, nämlich von Cambridge[1] und Morietta[2], dann von Westchester[3] und Knutsford[4] zehnjährige und von Charlestown[5] funfzehnjährige. Aus ihnen erhält man folgende tabellarische Zusammenstellung:

Monat.	Cambridge.		Westchester		Charlestown		Marietta		Knutsford
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Zoll.
Januar	3	7,9	2	7,5	2	2,2	1	10,9	1,685
Februar	3	1,1	3	3,2	3	4,4	4	8,5	1,993
März	2	10,2	3	10,0	2	9,6	4	4,5	2,667
April	3	1,9	3	2,0	1	7,4	3	8,6	1,967
Mai	4	10,2	4	3,3	3	5,1	2	4,1	2,119
Juni	1	9,2	4	1,5	4	7,5	4	3,2	2,572
Juli	2	1,2	4	1,8	5	1,7	4	6,7	3,253
August	1	11,4	4	2,4	7	1,4	2	3,0	2,956
Sept.	3	11,7	3	10,3	5	11,4	1	1,5	2,408
October	3	3,1	3	6,0	2	10,3	3	0,6	2,930
Novemb.	1	7,5	3	4,7	2	1,1	1	6,0	3,006
Decemb.	4	2,8	3	7,4	3	9,6	5	3,0	3,036
Jahr	36	6,2	44	0,1	44	11,7	39	0,6	30,592
Winter	30,1		21,6		20,8		30,4		21,94
Frühling	29,7		25,6		17,4		26,8		22,08
Sommer	16,0		28,4		37,5		28,4		28,70
Herbst	24,2		24,4		24,2		14,4		27,27

Es liefsen sich hieran allerdings einige Betrachtungen über den Einflufs knüpfen, welchen die örtlichen Bedingungen auf die Regenmengen überhaupt und hauptsächlich in den verschiedenen Jahrszeiten ausüben, allein theils sind der Beobachtungsorte zu wenige, theils ist ein zweijähriger Zeitraum

---

1 Williams in den mannheimer Ephemer.

2 Hildreth in Sillimann's Amer. Journ. XIV. 63.

3 Darlington ebend. p. 29.

4 Von Stanley in Edinb. Phil. Journ. N. XXIV. p. 300. Vergl. XII. p. 382.

5 Lining in Phil. Trans. 1753. p. 234.

viel zu kurz, als dafs es möglich seyn sollte, allgemeine Schlüsse mit Sicherheit darauf zu gründen, endlich aber liegen die hier genannten Orte für den beabsichtigten Zweck einander zu nahe, und aus den übrigen Ländern der beiden americanischen Haupttheile sind mir keine Beobachtungen bekannt, aufser von den vier Orten, die auf der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt sind, denen ich noch Funchal auf Madeira hinzufüge. Der Ueberblick der Regenmengen an diesen Orten, die sich an die eben genannten anschliefsen, in grofsen Entfernungen von einander und unter verschiedenen Breiten liegen, gewährt an sich und rücksichtlich ihrer Vertheilung auf die verschiedenen Jahreszeiten vieles Interesse.

Monat.	Philadelphia[1]	Missisippi[2]	Cuba[3]	Cayenne[4]	Funchal[5]
	Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.
Januar	2,664	1,219	4,50	16,462	3,470
Februar	3,480	8,562	3,00	10,933	2,130
März	2,871	3,602	3,50	12,269	0,840
April	4,775	2,786	2,14	12,700	2,770
Mai	2,890	0,750	9,50	19,350	1,070
Juni	1,491	2,663	23,50	13,185	0,185
Juli	5,170	1,973	5,50	4,259	0,050
August	2,804	3,621	6,50	1,812	0,500
September	3,698	4,554	10,75	0,750	0,770
October	1,185	1,687	10,50	0,851	1,620
November	3,706	0,516	4,75	3,246	4,755
December	4,503	5,422	1,71	14,051	0,260
Jahr	39,237	37,355	85,85	109,87	18,420
Winter	27,134	40,698	10,72	37,65	31,81
Frühling	26,851	19,108	17,64	40,35	25,40
Sommer	24,122	22,104	41,36	17,56	3,99
Herbst	21,893	18,089	30,28	4,43	38,79

1 Vierjährige Beobachtungen von 1800 bis 1803 von Andrew Ellicot in Amer. Phil. Trans. VI. 28.

2 Einjährige Beobachtungen von ebendemselben im Jahre 1829. Ebend. p. 23.

3 Ramon de la Sagra in Annales de Ciencias. Habana 1828. Nov. in Bibl. univ. XLI. 83.

4 Mentelle aus vierjährigen Beobachtungen in Mém. de l'Inst. Etr. I. p. 178.

5 Zweijährige Beobachtungen von Heineken in Edinb. Journ. of Sc. N. XIX. 73. New Ser. N. 1. p. 34.

Kämtz hat noch eine Untersuchung hinzugefügt, welche auf eine ähnliche Weise geeignet ist, den Einfluſs der Jahreszeiten auf die Regenmengen aufzuhellen, nämlich die nach den Monaten geordnete Zusammenstellung der Regentage; allein ich gestehe offen, daſs ich in die pünctliche Genauigkeit der hierüber vorhandenen Register nur wenig Vertrauen setze. Mir sind nämlich Beobachter bekannt, deren Gewissenhaftigkeit in der Aufzeichnung der Wetterbeobachtungen nichts zu wünschen übrig läſst, dennoch aber berechtigt eine genaue Prüfung ihrer Register zu der Vermuthung, daſs gerade die Aufzeichnung der Regentage auf die erforderliche Pünctlichkeit die geringsten Ansprüche machen darf. Inzwischen ist dieses auch sehr natürlich und soll diese Bemerkung keineswegs als ein Vorwurf gelten. Der Inhalt eines Regenmaſses läſst sich ohne eigentliche Mühe ermitteln, und nicht leicht wird irgend ein fleiſsiger Beobachter versäumen, diese Messung mindestens am Ende eines jeden Monats oder nach einem sowohl ungewöhnlich starken als auch anhaltenden Regen vorzunehmen, die übrigen Beobachtungen sind in der Regel an gewisse Zeiten gebunden, und werden meistens nur einige Mal am Tage aufgezeichnet, woran man sich bald gewöhnt; die Regen aber kommen regellos dazwischen und es unterbleibt daher leicht die Aufzeichnung derselben. Hierzu kommt, daſs die Thatsache, ob es geregnet habe, unbestimmter ist, als man gewöhnlich meint, allein man wird dieses einsehn, sobald man berücksichtigt, wie oft nur einzelne Tropfen fallen und daſs nicht selten der Unterschied zwischen dicken Nebeln und eigentlichem Regen schwer bestimmbar ist. Soll daher die Menge der Regentage zur Bestimmung örtlicher und sonstiger aus den verschiednen Jahreszeiten entstehender Einflüsse benutzt werden, so stehn die hierdurch zu erhaltenden Resultate denen weit nach, die sich aus den Regenmengen ergeben. Aus diesem Grunde überhebe ich mich einer ähnlichen Zusammenstellung der Regentage, als die eben mitgetheilte der Regenmengen ist, und verweise diejenigen, die auch in diesem Stücke Belehrung suchen, auf dasjenige, was Kämtz hierin geleistet hat. Wichtig ist indeſs die Bemerkung, daſs man keineswegs für verschiedene Orte die Menge der Regentage und die Quantität des gefallnen Regenwassers einander direct proportional annehmen darf.

Für solche Orte, die unter gleichen oder nahe gleichen Parallelen liegen, ist zwar das Verhältniſs beider einander ziemlich gleich, bei der Zusammenstellung von Gegenden unter ungleichen geographischen Breiten aber ist dasselbe sehr verschieden, indem man ziemlich allgemein annehmen kann, daſs mit der Abnahme der Polhöhen die Regenmengen wachsen, die Tage des Regnens aber vermindert werden. An den nämlichen Orten ist ferner im Ganzen zwar meistens die gröſsere Regenmenge einzelner Jahre mit der gröſsern Zahl der Regentage verbunden, denn unter andern erhielt Flaugergues[1] zu Viviers während 30 Jahren 1801 die gröſste Regenmenge von 48 Z. 1 L. und 1779 die geringste von 20 Z. 7,6 L., erstere mit 141, letztere mit 69 Regentagen, allein in Paris betrug die Regenmenge in dem heiſsen Jahre 1811 nicht weniger als 21 Z. 9 L., in dem kalten 1816 dagegen nur 20 Z. 2 L., aber ersteres hatte 143 Regentage, letzteres dagegen 167, wovon 16 in den Monat Juli fielen[2].

h) Veränderlichkeit der Regenmengen aus verschiedenen, zum Theil unbekannten, Ursachen.

Die Wechsel der Quecksilberhöhen im Barometer, die Veränderungen der Temperaturen und die hydrometeorischen Niederschläge sind die Hauptstücke, welche zu den meteorologischen Beobachtungen gehören; allein wenn die beiden erstern aller Schwankungen und Wechsel ungeachtet dennoch im Kreislaufe eines jeden Jahrs auf eine bleibende und nur geringe Verschiedenheiten zeigende mittlere Gröſse zurückkommen, so weichen dagegen die jährlichen Regenmengen so bedeutend von einander ab, daſs die Unterschiede jener mit diesen gar nicht vergleichbar sind. Beweise hierfür findet man schon beim flüchtigen Ueberblicke mehrjähriger meteorologischer Register in solcher Menge, daſs es sich kaum der Mühe lohnt, einzelne als Beispiele herauszuheben. Um dasjenige zu wählen, was mir am nächsten liegt, stelle ich bloſs die während 14 Jahren von mir selbst beobachteten Regenmengen in pariser Zollen neben einander.

1 Journ. de Phys. LXXXI. 104.
2 Journ. de Phys. 1816. Dec.

1819	1820	1821	1822	1823	1824	1825
26,85	20,55	26,70	15,40	27,47	33,64	26,88
1826	1827	1828	1829	1830	1831	1832
20,61	24,77	24,41	27,80	22,68	29,82	18,73.

Hierin verhält sich das Minimum zum Maximum wie 1 zu 1,796..., und da die Jahre, aus denen diese Resultate genommen sind, nicht absichtlich aus einer langen Reihe herausgehoben wurden, der hiesige Ort aufserdem keine Eigenthümlichkeiten darbietet, denen man so grofse Unregelmäfsigkeiten als specielle Ausnahmen beimessen könnte, so mufs man solche bedeutende Unterschiede als allgemein statt findend betrachten und findet diese Hypothese dann sofort auch an andern Orten bestätigt, wie folgende aus den verschiedensten Gegenden der Erde entnommene Beispiele unwidersprechlich darthun. Zu Paris gaben die Messungen von 1702 bis 1760 im Mittel 16 Z. 10 L., von 1779 bis 1785 im Mittel 18 Z. 9 L. von 1809 bis 1815 im Mittel 17 Z. 11 Lin.[1], nach Gasparin[2] aus 63jährigen Beobachtungen 20 Z. 9,8 L. Für Petersburg giebt Cotte[3] 15 Z. an, nach einer andern Angabe[4] beträgt sie gar nur 12,8 Z., nach Kämtz[5] aber im Mittel aus mehrjährigen Messungen 17 Z. 1,2 L. Nach Mentelle[6] fielen auf Cayenne in den Jahren 1789, 1790, 1791, 1792 und 1793 die ungleichen Regenmengen 97 Z. 9,5 L., 103 Z. 10,6 L., 115 Z. 11,1 L., 85 Z. 4,7 L., 111 Z. 9,8 L.; zu Bombay[7] in folgenden Jahren:

1803,	1804,	1817,	1818,	1819,	1820,	1921,
85 Z.	106 Z.	97 Z.	72 Z.	72 Z.	72,57 Z.	77,86 Z.
1822,	1823,	1824,	1825,	1826,	1827,	1828,
105,65 Z.	57,84 Z.	31,21 Z.	67,77 Z.	73,05 Z.	76,02 Z.	113,60 Z.

im Mittel also 79 Zoll, mit den aufserordentlichen Extremen

1 Journ. de Phys. 1816. Dec.

2 Bibl. univ. T. XXXVIII.

3 Mém. Th. II. p. 508. Vergl. d'Aubuisson Traité de Geog. T. I. p. 53.

4 North Amer. Review. Boston 1821. T. XXXII. p. 56.

5 Meteorol. T. I. S. 464.

6 Mém. de l'Inst. Etrang. T. I. p. 173.

7 Phil. Mag. 1829. Jan. Ann. Ch. Ph. XXVII. 404. XLII. 366.

von 31,21 und 113,6 Zoll. Zu Beikullo[1] betrugen die Regenmengen

1817,	1818,	1819,	1820
104 Z.	81,15 Z.	78,74 Z.	77,34 Z.

Auch zu Philadelphia[2] betrugen die jährlichen Regenmengen in den Jahren 1800, 1801, 1802 und 1803 die sehr ungleichen Gröſsen 31,09; 45,50; 57,92 und 37,56 engl. Zoll, in einzelnen Monaten aber fielen unter andern im Januar 1800 nur 1,32 Z., 1802 aber 5,23 Z., im August des erstern Jahres 0,35, des andern 6,32, im November 1830 nur 0,03, aber 1803 dagegen 5,41 engl. Zoll. Zu West-Chester in Pensilvanien wechselten die Regenmengen während 5 Jahren zwischen den Extremen von 40,5 und 54,1 engl. Zoll, aber dennoch giebt das Mittel aus 5 Jahren bis 1827 47,46 engl. Zoll und aus 10 Jahren 46,92 engl. Zoll[3].

Wäre die Zahl der bekannten Beobachtungen hinreichend, so könnte man daraus die Beantwortung der interessanten Frage entnehmen, ob die Unterschiede der jährlichen Regenmengen an verschiedenen Orten der absoluten Gröſse der mittlern proportional sind oder nicht. Um einer Entscheidung hierüber näher zu kommen, können auſser den mitgetheilten Beispielen noch folgende dienen. Zu Genf[4] beträgt die mittlere jährliche Regenmenge nach 35 Jahren von 1796 an gerechnet 28 Z. 11,8 L., das Minimum aber fällt in das Jahr 1822 mit 15 Z. 1,83 L. und das Maximum in 1799 mit 44 Z. 9,8 Lin. Auf dem St. Bernhard beträgt nach 10jährigen Beobachtungen das Mittel 59 Z. 2,73 Lin. mit einem gleichfalls in das Jahr 1822 fallenden Minimum von 36 Z. 6,54 L. und einem in 1818 fallenden Maximum von 78 Z. 11,1 Lin. Zu Joyeuse[5], wo nach Beobachtungen von 1805 bis 1827 die mittlere Regenmenge 47,6 Z. beträgt, war das Minimum im Jahre 1825 nicht höher als 32 Z. 11,9 L., das Maximum 1827 dagegen 81 Zoll 2 Lin. Zu New-Bedford[6] gaben die beiden einander folgen-

1 Asiatic Journal. 1821. Jul. p. 60.
2 Andrew Ellicot in Amer. Phil. Trans. T. VI. p. 28.
3 Silliman Amer. Journ. XIV. p. 29.
4 Bibl. univ. T. XXXVII. desgl. LII. p. 1.
5 Ann. Ch. et Phys. XLII. 366.
6 Silliman Amer. Journ. XVI. 46.

den Jahre 1827 und 1828 die sehr ungleichen Mengen 55,91 und 36 engl. Zoll, zu Cayenne aber die vier einander folgenden Jahre 1789, 1790, 1791 und 1792 die sehr verschiedenen Höhen von 103 Z. 10,6 L., 115 Z. 11,1 Lin., 85 Z. 4,7 Lin. und 111 Z. 9,8 Lin. pariser Maſs; auch waren die einzelnen Monate der verschiedenen Jahre einander so ungleich, daſs unter andern der Februar 1789 nur 2 Z. 0,6 Lin., der von 1790 aber 22 Z. 7,4 L. und der April 1790 nur 3 Z. 4,7 Lin., der von 1791 aber 23 Z. 7,1 Lin. gab[1].

Es lieſsen sich der Thatsachen dieser Art noch leicht eine bedeutende Menge aus den oben mitgetheilten Angaben zusammenstellen, allein im Ganzen scheinen mir die vorhandenen Beobachtungen zur definitiven Entscheidung der aufgeworfenen Frage nicht genügend, weil uns namentlich eine hinlängliche Anzahl längere Zeit hindurch anhaltend fortgesetzter Messungen der übergroſsen Regenmengen tropischer Gegenden fehlt. Eine Zusammenstellung der Resultate von den wenigen genannten Orten giebt das Verhältniſs des Minimums zum Maximum für Heidelberg fast 1 zu 1,80, für Genf fast 1 zu 3, für den St. Bernhard 1 zu 2,16, für Joyeuse fast 1 zu 2,5, für Cayenne etwas mehr als 1 zu 1,3. Im Allgemeinen möchte ich daher schlieſsen, daſs das Verhältniſs der Unterschiede keineswegs der absoluten Gröſse der Regenmengen proportional, vielmehr an denjenigen Orten am gröſsten ist, wo eigenthümliche örtliche Bedingungen vom bedeutendsten Einflusse sind.

Bei der hieraus erwachsenden Unsicherheit in den Bestimmungen der Regenmengen wage ich nicht, eine andere oft aufgeworfene Frage auch nur annähernd zu beantworten, nämlich wie groſs die Regenmenge über der ganzen Erde seyn möge. Bergmann[2] nimmt für Europa 15 bis 20 Zoll und hiernach über der ganzen Erde im Mittel 30 Zoll an, und somit betrüge die Gesammtmenge des jährlich herabfallenden Regenwassers 1016 geogr. Kubikmeilen. D'Aubuisson[3] rechnet für das Cap der Insel Domingo 113 Zoll, für Calcutta

1 Mentelle in Mém. de l'Inst. Étr. T. I. p. 173.

2 Physical. Beschreib. d. Erdkugel. Greifswalde 1780. Th. II. §. 115.

3 Traité de Geognos. T. I. p. 53.

111 Z., für Rom 37 Z., für Toulouse 25 Z., für Paris 21 Z., für London 17 Z. und für Petersburg 15 Zoll als Normalbestimmungen für die verschiedenen Breiten, woraus im Mittel 35 Zoll über die ganze Erdoberfläche folgen würde. Die Frage, deren Entscheidung hauptsächlich zur Bestimmung des Ursprungs der Quellen dienen sollte, hat gegenwärtig ihr Interesse gröſstentheils verloren, da diese Aufgabe als entschieden zu betrachten ist, und auſserdem geht aus den mitgetheilten Bestimmungen genügend hervor, daſs sich die Regenmengen durchaus unter keine auf die Unterschiede der geographischen Breite gestützte Regel bringen lassen.

Noch ungleich auffallender als diese Regellosigkeit und ein sprechendes Beispiel abgebend, wie sehr man gerade in Gegenständen der Meteorologie voreilige, auf einseitige Thatsachen gegründete Schlüsse vermeiden müsse, sind die Resultate, welche Arago[1] aufgefunden hat, nämlich daſs an einigen Orten eine periodische Zunahme, an andern aber eine gleichfalls periodische Abnahme der Regenmengen aus den Messungen zu folgen scheint, die jedoch nach einem längern Zeitraume wieder wegfällt und sich also als unstatthaft zeigt. So fand in Paris von 1719 bis 1785, der Länge dieses Zeitraums ungeachtet, eine Zunahme der Regenmengen statt, die sich aber später wieder ausglich, so daſs man sie von 1689 bis 1824 als im Ganzen gleichbleibend betrachten kann. Auf gleiche Weise beobachtete Flaugergues zu Viviers in einer langen Periode folgende Zunahme:

1778	bis 1787	Regenmaſs	31,1 Z.	in	83	Regentagen
1788	- 1797	—	33,2 Z.	-	94	—
1798	- 1807	—	34,2 Z.	-	106	—
1808	- 1817	—	37,4 Z.	-	108	—

Dieses periodische Wachsen ist um so auffallender, da die Verminderung der Wälder gerade das Gegentheil erwarten lieſs. Dagegen ergiebt die Vergleichung der zu Marseille angestellten Beobachtungen gerade das Gegentheil. Hier erhielt man nämlich:

1772	bis 1782	Regenmaſs	21,8 Z.	in	57	Tagen
1795	- 1805	—	19,5 Z.	-	54	—
1806	- 1815	—	14,1 Z.	-	55	—
1816	- 1820	—	13,7 Z.	-	55	—

1 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 400.

Des langen Zeitraums ungeachtet sind diese Abnahmen zu grofs, als dafs man sie für etwas Bleibendes und nicht vielmehr für eine vorübergehende, demnächst wieder rückkehrende Anomalie halten sollte, indem sonst die Regen dort bald ganz aufhören würden. Das merkwürdigste Beispiel dieser Art aber, was es giebt, liefern die anhaltenden Beobachtungen auf der Sternwarte zu Mailand [1], und da sie zugleich unter die genausten gehören, welche die Meteorologie aufzuweisen hat, so setze ich sie insgesammt her, um zugleich eine Uebersicht der stattfindenden Variationen zu geben.

Jahre	Regenmenge		Jahre	Regenmenge		Jahre	Regenmenge	
	Z.	L.		Z.	L.		Z.	L.
1764	34	7,32	1786	39	8,66	1808	27	1,12
1765	47	6,13	1787	32	9,71	1809	37	6,63
1766	32	2,12	1788	40	7,00	1810	49	7,97
1767	33	11,60	1789	27	10,43	1811	33	5,33
1768	33	0,41	1790	28	2,23	1812	39	5.13
1769	33	2,75	1791	39	11,76	1813	43	10,51
1770	30	9,40	1792	29	11,95	1814	58	11,58
1771	25	11,52	1793	39	11,65	1815	36	5,54
1772	40	5,76	1794	33	9,57	1816	32	11,67
1773	35	6,03	1795	40	6,85	1817	24	8,48
1774	28	8,95	1796	38	5,64	1818	35	8,45
1775	26	9,94	1797	39	3,37	1819	40	3,23
1776	33	2,95	1798	35	10,74	1820	35	4,94
1777	38	6,89	1799	34	4,63	1821	42	3,72
1778	30	5,06	1800	32	0,01	1822	32	5,19
1779	29	1,05	1801	44	2,32	1823	39	9,85
1780	32	4,70	1802	31	10,28	1824	36	3,76
1781	34	4,10	1803	29	3,00	1825	30	5,76
1782	28	0.17	1804	41	8,30	1826	47	6,63
1783	38	0,65	1805	30	11,02	1827	41	1,64
1784	33	7,32	1806	41	9,10	1828	25	8,22
1785	33	9,83	1807	36	4,16			

Schon Chiminello [2] stellte die Behauptung auf, die Regenmenge sey am südlichen Abhange der Alpen zunehmend im Wachsen. Ungleich wichtiger aber schien diese nämliche Behauptung, als Cesaris [3] sie auf die lange Reihe der mit-

1 Biblioteca Italiana. 1828. Dec. Daraus in Wiener Zeitschrift VI. 244.

2 Memorie dell' Accademia di Siena T. VI.

3 Memorie della Società Italiana T. XVIII. Hft. 1.

getheilten Beobachtungen auf der Sternwarte zu Mailand gründete, die er von 1764 bis 1817 in zwei Hälften, jede von 27 Jahren, theilte und aus der ersten im Mittel 33 Z. 6 Lin., aus der zweiten 37 Z. 2 L. erhielt. Hiergegen machte jedoch Arago[1] den gegründeten Einwurf, daſs der Zeitraum immer noch nicht lang genug sey, indem sich auch für Paris eine ähnliche Zunahme gezeigt habe, die aber später wieder ausgeglichen worden sey. Auſserdem lägen die Maxima und Minima der jährlichen Regenmengen in jener erstern Hälfte zwischen 26 Z. und 47,5 Z., in der zweiten aber zwischen 24,7 Z. und 58,9 Z. Inzwischen hat später Giuseppe Castellani[2] aus den mitgetheilten Registern abermals die Folgerung einer wachsenden Regenmenge abgeleitet und findet die Ursache der Zunahme in den häufigen Ueberschwemmungen, den dadurch erzeugten Bergstürzen und in der zunehmenden Verödung der Waldstrecken.

Im Ganzen fällt in der Tabelle die gröſste Regenmenge von beinahe 59 Zoll in das Jahr 1814, die geringste aber von weniger als 24,7 Z. in das Jahr 1817, also in eins der letzten, und der Unterschied beider beträgt demnach mehr als die letztere ganz. Um aber zu versuchen, ob die Beobachtungen während der ganzen Reihe von 65 Jahren der groſsen Schwankungen ungeachtet dennoch eine stete Zunahme geben, wird die Regenmenge p, welche einem n^{ten} von irgend einer Periode, z. B. 1800 an vorwärts oder rückwärts gezählten Jahre entspricht, $p = a + bn$ gesetzt, worin a eine beständige Gröſse und b einen Coefficienten, beide aus den Beobachtungen zu bestimmen, bezeichnen. Die Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate giebt $p = 431,25 + n \,.\, 0,954$ Linien, also allerdings eine Zunahme, aber eine so geringe von nicht ganz einer Linie, so daſs einige folgende trockne Jahre, wie die 1829 und 1832 schon gewesen sind, die Differenz wieder auszugleichen vermögen können. Immerhin aber bleibt eine solche periodische Schwankung, welche Toaldo bereits anzunehmen geneigt war, höchst merkwürdig.

Einen sehr schätzbaren Beitrag zu diesen interessanten Un-

1 Annuaire prés. au Roi. 1825. p. 154.

2 Observations sur le Révenu, que les Gouvernements peuvent tirer, en dirigeant le cours des eaux cet. Turin 1828.

tersuchungen hat Schouw[1] geliefert. Theilt man nämlich die ganze Periode der Messungen auf dem Observatorium in Kopenhagen von 1769 bis 1815 in vier Abtheilungen, so erhält man die jährlichen Regenmengen

von	1769	bis	1776	. . . 214,21	Linien
—	1782	—	1789	. . . 172,52	—
—	1790	—	1797	. . . 170,36	—
—	1798	—	1815	. . . 204,11	—

Macht man zwei gröſsere Abtheilungen, so ergiebt sich

von	1769	bis	1789	. . . 193,36	Linien
—	1790	—	1815	. . . 188,23	—

Hier findet also eine scheinbare Abnahme statt, und eben diese geht auch aus den Messungen an andern Orten in Europa hervor, wenn aus wieder andern das Gegentheil gefolgert werden könnte. So findet man für die verschiedenen Perioden

Lund	1.	Periode	29	Jahre	von	1753	bis	1781.	16,882	Z.
	2.	—	29	—	—	1782	—	1811.	19,020	-
Stockholm	1.	—	18	—	—	1785	—	1803.	19,532	-
	2.	—	18	—	—	1804	—	1821.	15,639	-
Åbo	1.	—	24	—	—	1750	—	1774.	20,858	-
	2.	—	24	—	—	1775	—	1800.	19,712	-
Wexiö	1.	—	11	—	—	1800	—	1811.	19,823	-
	2.	—	11	—	—	1812	—	1822.	22,269	-

Für London bestimmt Howard[2] nach den Messungen auf dem Observatorium der Royal Society:

von	1774	bis	1796	jährlich	19,762	engl. Zoll
—	1797	—	1806	—	19,355	— —

und wenn man die spätern Beobachtungen an einem tiefern Orte für die Höhe corrigirt, für eine dritte Periode von 1807 bis 1816 nur 19,054 Zoll, zwar wiederum etwas abnehmend, aber so wenig, daſs der Unterschied unbedeutend wird[3].

1 Skildring af Vierligets Tilstand i Danmark. Kiöbenhavn 1826. 8. Daraus in Hertha Th. X. S. 307.

2 Climate of London T. II. p. 184.

3 Auch für Petersburg lassen sich zwei Perioden auffinden, nämlich die ältere, welche Lexel's Beobachtungen von 1778 bis 1786 in Acta Soc. Pet. T. IV p. 17. begreift, und die neuere der beiden Jahre 1818 und 1819. Die erstere giebt 15,0, die letztere 14,9 englische Zoll.

Schouw weist aufserdem nach, dafs der Wasserstand der Seen in Dänemark gewisse periodische Schwankungen zeigt, und ist hiernach der Meinung, dafs letztere nur vorübergehend und im Ganzen die Regenmengen für eine lange Reihe von Jahren im Mittel stets gleichbleibend sind. Hierfür entscheiden insbesondere die pariser Messungen und blofs die italienischen stehn noch zur Zeit als sehr bedeutend entgegen, obgleich auch dort eine demnächst erfolgende Ausgleichung zu erwarten steht.

Fragen wir nach den Ursachen dieser Anomalieen und ihrem Zusammenhange mit anderweitigen Naturerscheinungen, so dürfte es nach unsern gegenwärtigen Kenntnissen unmöglich scheinen dieselben anzugeben; denn eben hierauf beruht die bis jetzt bewährte Unzulässigkeit einer Vorausbestimmung der Witterung auf einen längern Zeitraum, weil man alle hierbei mitwirkende Bedingungen zusammenzufassen bisher aufser Stande war. Allerdings müssen zur Erzeugung gröfserer Regenmengen mehr mit Wasserdampf überladene Luftschichten herbeigeführt werden, allein es kostet schon so viele Mühe, nur mit einiger Wahrscheinlichkeit aufzufinden, woher diese in der Regel kommen, viel weniger also läfst sich ausmitteln, welche Strömungen in der Atmosphäre die ungewöhnlichen Erscheinungen übergrofser oder sehr geringer Regenmengen bedingen, und eine Vorausbestimmung ihres Eintreffens ist also ganz unmöglich. Das Einzige, was wir hierüber mit Gewifsheit wissen, ist die aus vielen Erfahrungen entnommene Folgerung, dafs vorherrschende Trockenheit oder Nässe einzelner oder mehrerer einander folgender Jahre fast ohne Ausnahme nicht einzelnen Orten eigenthümlich, sondern über bedeutende Länderstrecken verbreitet zu seyn pflegen, während man in andern gleichzeitig die entgegengesetzte Disposition findet. Hieraus folgt offenbar, dafs abwechselnd verschiedenartige Luftströmungen vorherrschend sind, was auch schon aus dem Zusammenhange der Winde und der Regenmengen hervorgeht, und dafs solche Strömungen nicht blofs lange anhaltend, sondern auch von sehr weiter Verbreitung sind, folglich mit den Fluthungen im unermefslich grofsen Luftoceane in Verbindung stehn. Als Beispiele, die man nicht weit zu suchen hat, will ich nur anführen, dafs in den Jahren 1828 und 1829 in Italien und Dalmatien eine aufserordentliche Dürre

herrschte, während diesseit der Alpen die Regen ungewöhnlich häufig waren, und auf gleiche Weise hat noch im Jahre 1833 eine unerhörte Trockenheit einigen Districten Rufslands den Ertrag der Felder geraubt, während in Ungarn und in den hiesigen Gegenden vorherrschender Regen die Güte des Weins verminderte.

Die hier aufgestellte Thatsache ist zwar ebenso allgemein als gewifs, jedoch keineswegs genugsam für die Erweiterung der Meteorologie benutzt. Könnte man nämlich mehrere oder viele Jahre nach einander über der ganzen Erde oder einem bedeutenden Theile derselben diejenigen Gegenden, in denen Trockenheit oder Nässe vorherrschte, genau bezeichnen, und wäre man zugleich von dem Anfange und der Dauer dieser Dispositionen, von den gleichzeitig wehenden Winden und sonstig begleitenden Umständen unterrichtet, wüfste man ferner aus der Zusammenstellung der Resultate mehrerer Jahre, ob hierbei eine regelmäfsige Fortschreitung oder ein blofs zufälliges Eintreffen statt findet, so liefsen sich vielleicht hieraus wichtige Folgerungen über den Wechsel der Windrichtungen und der sie begleitenden Hydrometeore, desgleichen mindestens wahrscheinliche Gesetze der Luftströmungen im grofsen Luftoceane und den verschiedenen Zonen desselben auffinden. Es ist zu erwarten, dafs durch eine weitere Verbreitung der wissenschaftlichen Cultur künftig viele genaue und anhaltend fortgesetzte Beobachtungen aus den entlegensten Orten des gröfsten Theils der bewohnten Erde zu erhalten sind, deren Vereinigung zu jenen oder zu ähnlichen Resultaten führen könnte.

Aus den hier mitgetheilten Thatsachen folgt zugleich, dafs die nicht uninteressante und bei mehrern Veranlassungen vorkommende Frage, wie grofs die mittlere jährliche Regenmenge an den einzelnen Orten der Erde sey, sich keineswegs leicht, und nur für diejenigen Orte mit genügender Sicherheit beantworten lasse, von denen vieljährige Beobachtungen zur Benutzung vorliegen. Wer aber eine solche Zusammenstellung unternimmt, der fühlt sich oft in Verlegenheit, welche der verschiedenen Angaben er benutzen und was für ein Gewicht er den einzelnen bei ihrer bedentenden Abweichung beilegen soll. Inzwischen glaube ich mich doch diesem Geschäfte unterziehn zu müssen, da unser Werk gerade über solche Fragen

die nöthige Auskunft geben soll, und theile daher in der nachfolgenden Tabelle eine Uebersicht mit, die mir alphabetisch geordnet am zweckmäſsigsten zu seyn scheint. Die bereits von andern hinlänglich bekannten Physikern aufgefundnen mittlern Regenmengen benutze ich mit Angabe dieser Autoritäten; von den sonstigen Orten habe ich aus verschiednen Bestimmungen diejenige mittlere Gröſse aufgenommen, die nach meiner Ansicht der Wahrheit am nächsten liegt; zugleich füge ich die geographische Breite, jedoch nur mit der erforderlichen genäherten Genauigkeit, hinzu, desgleichen die Höhe über der Meeresfläche und die Zahl der Regentage, beide nur da, wo sie bekannt sind.

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Aberdeen .	57°,04	—	27,64	—	Innes[1].
Åbo . . .	60,50	—	24,14	146	Leche[2].
Alais . . .	44,12	431	38,18	68	Arago[3].
Algier . . .	36,81	—	25,8	—	Brisson[4]
Andex . .	48,15	2288	27,32	147	Kämtz[5].
Apenroe . .	55,05	38	21,07	179	Neuber[5b].
Arles . . .	43,67	—	22,30	107	Bret[6].
Augsburg .	48,39	1464	36,68	148	Starck[7].
Auxerre . .	47,75	266	23,20	—	Moreau de Jonnes[8].
Avignon . .	43,95	85	23,05		Guerin[9]
Bancoorah .	23,50	—	27,93		G. Macritchie[9b].
Barrowby .	53,80	—	23,74		Lloyd[10].
Bayeux . .	49,3	—	20,00		Moreau de Jonnes[8].

1 Edinb. New Phil. Journ. N. XXI. p. 158.
2 Schwed. Abh. XXIV. S. 314.
3 Ann. Ch. et Phys. VIII. 75.
4 Dict. rais. de Physique.
5 Meteorol. Aus mannheimer Ephem.
5b Collectanea meteorologica. Hafn. 1729.
6 Schübler Grundsätze der Meteorol. S. 132.
7 Cotte Mem. II. 204.
8 Ueber die Veränderungen, die durch Ausrottung d. Wälder u. s. w. entstehn. Tüb. 1818. S. 76.
9 Schouw specimen geographiae phys.
9b Edinb. New Phil. Journ. XXVIII. 230. Einjähr. Beobachungen.
10 Phil. Trans. 1782. p. 71.

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fufs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Baykullo . .	19°,00	—	91,94	—	Ungenannter[11].
Bergamo . .	45,70	—	43,60	—	Mascheroni[12].
Bergen . .	60,70	—	{77,60	—	Schouw[13].
			{83,16	—	Kämtz[14].
Berlin . .	52,52	115	19,60	171	Moreau de Jonnes[8].
Bern . . .	46,95	1769	43,30	—	Gasparin[15].
Bernhard, St.	45,53	7668	59,23	107	Pictet[16].
Bezières . .	43,34	358	16,24	—	Bouillet u. Mairan[6].
Bologna . .	44,50	372	29,11	—	Gasparin[15].
Bombay . .	18,95	—	{78,34	—	Adie[17].
			{90,67	—	Arago[18].
Bordeaux .	44,83	—	24,3	150	Moreau de Jonnes[8].
Boston . .	42,42	—	22,32	—	Ungenannter[19].
Bourg en Bresse	46,20	—	43,33	—	Puvis[20].
Branxholm .	55,85	—	29,50	—	Gasparin[15].
Breda . . .	51,60	—	24,63	158	Hell[6].
Brescia . .	45,49	400	41,02	—	Rodella[12].
Breslau . .	51,15	400	23,9	—	Göppert[21].
Bridgewater	51,10	—	27,5	—	Dalton[22].
Bristol . .	51,46	—	21,89	—	Farr[6].
Brüssel . .	50,85	262	17,90	164	Gasparin[15].
Calcutta . .	22,57	—	{111,00	—	Cotte[23].
			{71,25	—	Trail u. Pearse[24].

11 Asiatic Journ. 1821. Jul. p. 60. u. Ann. of Phil. XXXII. p. 115.

12 Kämtz Meteorol. aus Toaldo.

13 Aus 10jähr. Beob. von Ahrentz in Danske Vidensk. Selsk. Skrifter. T. XI. und Bohr Mag. for Naturvidensk. 1823.

14 Meteorologie. Th. II. S. 465. Aus denselben und andern Quellen.

15 Bibl. univ. T. XXXVIII.

16 Ebend. XL. 11. u. LII. 1. aus 10jähr. Beobachtungen.

17 Edinb. Journ. of Sc. N. XIX. p. 141.

18 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 406.

19 Phil. Mag. N. LXV. p. 287. 288.

20 Gasparin in Bibl. univ. T. XXXVIII.

21 Wärme-Entwickelung d. Pflanzen. S. 58.

22 Manchester Mem. T. V. p. 346. G. XV. 249.

23 D'Aubuisson Traité de Géog. I. 53.

24 Asiatic Res. I. 441. II. 421.

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Cambray . .	50°,17	—	16,04	—	Trécourt [6].
Cambridge .	42,25	210	36,51	—	Kämtz [5].
Carbeth . .	56,00	—	39,09	—	Jameson [25].
Carlisle . .	54,95	—	24,31	209	Pitt [25b].
Carlsruhe .	48,99	380	25,55	174	Boeckmann [26].
Cayenne . .	4,93	—	109,87	—	Mentelle [27].
Charlestown	42,27	—	44,90	—	Lining [28].
Chattsworth	53,00	—	25,95	—	Kämtz [29].
Chioga . .	45,26	12	30,74	—	Vianelli [6].
Chur . . .	46,83	1872	32,10	115	Schübler [7].
Coblenz . .	50,35	—	20,84	—	Mohr [30].
Coimbra . .	40,25	281	111,54	—	Lacerda Lobo [31].
Conegliano .	45,78	—	44,25	—	Graziani [12].
Crawshaw-booth . .	53,75	—	56,29	—	Dalton [22].
Cuba . . .	21,30	—	85,85	—	Ramon de la Sagra [32].
Cumana . .	10,25	18	7,50	—	v. Humboldt [33].
Cuxhaven .	53,87	28	29,2	145	Schübler [7].
Delft . . .	52,15	—	26,10	—	Brisson [4].
Dijon . .	47,31	856	23,91	124	Maret [6].
Domingo . .	18,36	—	113,00	—	Cotte [23].
Dordrecht .	51,78	—	36,60	—	Brisson [4].
Dover . .	51,12	—	44,10	—	Gasparin [15].
Dumfries .	55,10	—	34,75	—	Copland [29].
Edinburg .	55,93	—	23,50	—	Adie [34].
Epping . .	51,70	—	25,21	—	Squire [35].
Erfurt . .	50,98	585	12,57	128	Gasparin [15].
Fell-Foot .	54,35	—	52,25	—	Dalton [22].
Florenz . .	43,77	255	38,80	—	Tartini [12].

25 Edinb. Phil. Journ. N. S. X. 395.

25b G. XXIX. 223.

26 Eisenlohr Carlsruher Witterungsverhältnisse.

27 Mém. de l'Inst. Étrang. I. 173.

28 Philos. Trans. 1753. p. 284.

29 Meteorologie. Nach Dalton.

30 Ebendas. aus Mspt.

31 Balbi Essay sur Portugal. I. 112.

32 7jähr. Beobachtungen in Annales de Ciencias. Habana 1828. Nov.

33 Reis. D. Ueb. V. 716.

34 Kämtz Meteorologie aus den Quellen zusammengetragen.

35 Philos. Mag. and Ann. N. S. I. 208.

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Franecker .	53°,12	—	28,56	172	Van Swinden [36].
Freudenstadt	48,45	2175	57,10	—	Schübler [7].
Funchal . .	33,00	—	27,32	—	Heineken [37].
Fyfield . .	51,00	—	24,30	—	Dalton [22].
Garsdale . .	54,00	—	49,07	—	Dalton [22].
Genf . . .	46,25	1252	28,81	103	Senebier [38].
Genkingen .	48,42	2400	35,56	—	Schübler [7].
Genua . .	44,41	—	44,43	—	Kämtz [12].
Giengen . .	48,61	1440	25,60	143	Schübler [7].
Glasgow . .	55,85	—	20,10	—	Couper [39].
Gosport . .	50,83	—	27,89	—	Bourney [40].
Göttingen .	51,52	412	24,90	162	Gatterer [5].
Grenada . .	12,20	—	105,10	—	Cazand [6].
Guadaloupe	16,50	—	80,00	—	Moreau de Jonnes [8].
Haag . . .	52,07	—	26,60	—	Brisson [4].
Hackney-Wick . .	51,57	—	22,80	—	Beaufoy [41].
Hagenau . .	48,82	443	25,05	166	Keller [6].
Harderwyk	52,34	—	26,10	—	Brisson [4].
Harlem . .	52,37	—	23,20	—	Brisson [4].
Havanah . .	23,00	—	85,73	—	Ramon de la Sagra [42].
Heidelberg .	49,61	313	24,47	—	Muncke.
Joyeuse . .	44,46	600	47,91	97	Tardy de la Brossy [43].
Kandy . .	3,50	—	68,90	—	Tilloch [44].
Kendal . .	54,36	—	50,40	—	J. Dalton [28].
Keswick . .	54,51	—	63,32	—	Dalton [22].
Kimbolton .	52,40	—	23,45	—	Dalton [22].
Kinfouns .	56,89	—	23,17	148	Gray [45].
Knutsford .	43,00	—	30,60	—	Stanley [46].

36 L. v. Buch in G. XXV. 327.
37 Edinb. Journ. of Science N. XIX. 78.
38 Bibl. univ. 1818. Mars.
39 Ann. of Phil. XII. 376.
40 Ann. of Phil. 1816 ff.
41 Ann. of Phil. 1813 ff.
42 Schweigg. Jahrb. N. R. XXV. 405.
43 Bibl. univ. T. XXXVII. 9. Ann. Ch. et Phys. XXVII. 400.
44 Phil. Mag. LV. 319.
45 Ann. of Philos. 1813 ff.
46 Edinb. Phil. Journ. N. XXIV. p. 300.

Orte.	Polhöhe.	Höhe p.Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Kopenhagen	55°,70	82	17,31	—	Bugge [47].
			19,52	—	Schouw [47b].
Lancaster .	54,05	—	37,25	168	Campbel [28].
Lausanne .	46,52	1533	37,75	—	Gasparin [15].
Leiden . .	52,15	—	49,88	107	Musschenbroek [48].
Lighton-Bazard	51,80	—	22,21	—	Tilloch [49].
Lissabon . .	38,70	—	25,39	—	Franzini [31].
Liverpool .	53,43	—	32,39	—	Hutchinson [50].
London . .	51,50	162	23,40	—	Howard [51].
Lüneburg .	53,25	—	24,00	—	Schübler [7].
Ludguam . .	51,10	—	38,46	—	Dalton [22].
Lund . . .	55,71	—	18,10	—	Schenmark [52].
Lyndon . .	52,66	—	17,14	—	Barker [53].
Lyon . . .	45,75	476	37,00	—	Brissón [4].
Madeira . .	32,60	—	28,15	—	Heineken [54].
Maestricht .	50,81	—	70,01	—	Quetelet [55].
Mafra . . .	38,93	—	41,54	—	Joaq. da Assumpçao Velha [31].
Mailand . .	45,47	394	36,50	—	Césaris [56].
Malabar. Küste	11,00	—	90,00	—	Le Gentil [57].
Malton . .	54,08	—	28,36	135	Stockton [58].
Man . . .	54,30	—	34,83	145	Stewart [59].
Manchester .	53,47	—	33,91	—	Dalton [60].
Mannheim .	49,50	258	21,01	145	Hemmer [5].
Manosque .	43,83	1200	21,98	—	Bouteille [6].
Mantua . .	45,07	—	28,77	—	Asti [6].

47 Hertha. X. 307.

47b Aus 39jährigen Beobachtungen in Collectanea meteor. Hafn. 1829.

48 Introd. T. II. p. 999. §. 2365.

49 Phil. Mag. and Ann. T. II. p. 75.

50 Ann. of Phil. XV. 257.

51 Ebend. von 1812 an.

52 Schwed. Abhandl. Th. XXXVI. S. 126.

53 Philos. Trans. 1771. p. 221 ff.

54 Phil. Mag. and Ann. T. II. p. 364.

55 Einjähr. Beobacht. in Corresp. astron. VII. 182.

56 Mém. de la Soc. Ital. XVIII. 73.

57 Voyage T. I. p. 475.

58 Ann. of Philos. 1816 jährl.

59 Edinb. Journ. of Sc. N. X. 231. N. S. N. IV. 249.

60 Ann. of Phil. XV. 257.

Orte.	Polhöhe.	Höhe p.Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Maranhao .	2°,5 s	—	259,80	—	PEREIRA LAGO[61].
Mariette . .	39,50	—	38,92	—	SILLIMAN[62].
Marostica .	45,30	—	40,90	—	CHIMINELLO[6].
Marseille . .	43,30	144	17,3	55	ARAGO[63].
Martinique .	14,50	—	81,60	—	MOREAU DE JONNES[8].
St. Maurice .	45,68	1772	23,12	144	GALLOT[6].
Metz . . .	49,12	456	27,25	159	LE GAUX u. LAURIAN[6].
Middelburg .	51,51	76	25,40	163	GASPARIN[15].
Mississippi .	31,50	—	40,14	—	L. VON BUCH[64].
Montmorenci	48,50	—	21,50	148	COTTE[6].
Montpellier .	43,60	—	30,40	85	GASPARIN[15].
Mühlhausen .	47,81	708	28,30	164	SCHÜBLER[7].
Neapel . .	40,83	26	35,00	—	MOREAU DE JONNES[8].
Near-Oundle	52,43	—	21,58	—	DALTON[22].
Near-Ware .	51,80	—	23,46	—	DALTON[22].
New-Bedford	41,50	—	45,96	—	SILLIMAN[65].
New-Haven	41,00	—	51,38	—	SILLIMAN[65 b]
New-Orleans	29,95	—	39,00	—	MOREAU DE JONNES[8].
Nimes . .	43,83	—	23,73	—	BAUX u. VALZ[20].
Norwich . .	52,71	—	24,00	—	DALTON[22].
Ofen . . .	47,50	—	16,04	112	WEISS u. BRUNA[5].
Orange . .	44,13	—	28,43	94	GASPARIN[15].
Oxford . .	51,75	—	20,57	—	ROBERTSON[66].
Padua . . .	45,50	56	34,55	126	TOALDO[67].
Palermo . .	38,15	—	20,80	—	SCINA[31].
Paramatta .	33,80 s	—	28,10	—	BRISBANE[68].
Paris . . .	48,83	262	{ 17,91 20,80 }	160	{ ARAGO[69]. GASPARIN[15].

61 Einjähr. Beob. v. HUMBOLDT Reis. V. 270.
62 American Journ. T. XIV.
63 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 400. Andere Gröſsen sind oben angegeben.
64 G. XXV. 327.
65 American Journ. of Sc. XVI. p. 46.
65b American. Journ. of Sc. XIV.
66 Edinb. Journ. of Science N. II. p. 287.
67 Journ. de Phys. T. X.
68 Edinb. Phil. Journ. N. XIX. p. 119.
69 Journ. de Phys. 1816. Dec.

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Peiſsenberg .	47°,78	3145	20,70	—	Gasparin [15].
Penzanze .	50,12	—	36,77	164	Giddy [70].
Petersburg .	59,93	106	17,10	167	Kraft [71].
Petit-Ance auf Domingo .	18,00	—	75,80	—	Moreau de Jonnes [8]
Philadelphia .	39,93	—	39,24	—	Andrew Ellicot [72].
			30,00	—	Ungenannter [73].
Pisa . . .	43,72	51	34,50	—	Brisson [4].
Plymouth .	50,36	—	29,10	—	Brisson [4].
Poitiers . .	46,57	—	22,17	—	de la Mezière [6].
Prag . . .	50,08	592	15,40	109	Strnadt [20].
Regensburg .	49,00	950	21,07	130	Placidus Heinrich [74].
Rio-Janeiro	22,90 s	—	55,60	—	Kämtz [75].
Rochelle . .	46,15	83	24,25	146	Seignette und Fleuriau de Bellevue [76].
Rom . . .	41,90	141	29,30	120	Calandrelli [77].
Rotterdam .	51,92	—	21,20	187	Van Srouten [6].
Rovigo . .	45,25	—	30,82	—	Cittadini [12].
Sagan . . .	51,70	387	15,80	192	Preus [5].
Salo . . .	45,66	—	39,40	—	Avanzini [12].
Salzuffeln .	52,07	254	26,90	—	Schübler [7].
San-Carlos .	34,00 s	511	95,00	—	v. Humboldt [78].
Selbourne .	51,00	—	34,91	—	Dalton [22].
Seringapatam	12,00	—	22,22	—	Scarman [79].
Siena . . .	43,36	—	32,05	—	Accad. di Siena [6].
Sierra-Leona-Küste . .	9,00	—	80,94	—	Kämtz [75].
South-Lambeth	51,25	—	21,30	—	Dalton [22].
Sparendam .	52,34	—	31,57	—	Engelmann [6].
Stockholm .	59,33	300	17,58	—	Ehrenbein [9].

70 Ann. of Phil. 1819 ff.
71 Comm. Pet. T. IX. p. 884.
72 Amer. Phil. Trans. T. VI. p. 28.
73 North Amer. Review. T. XXXII. p. 56.
74 Gehlen's u. Schweigger's Journ.
75 Meteor. Th. I. S. 430. Aus Winterbottom Nachrichten.
76 Beob. von 1777 bis 1793. in Ann. Ch. Ph. T. XLII. p. 366.
77 G. XXIV. 239.
78 Reisen. D. Ueb. Th. IV. S. 301.
79 Beobacht. von 1816. Edinb. Journ. of Sc. N. X. p. 258.

Orte.	Polhöhe	Höhe p. Fuſs.	Regen-menge p. Zoll.	Regen-tage.	Autoritäten.
Straſsburg .	48°,57	450	25,57	153	Herrenschneider[80].
Stuttgart . .	48,77	837	23,75	155	Schübler[7].
Tegernsee .	48,15	2324	43,80	170	Gasparin[15].
Tolmezzo .	46,40	—	70,04	—	Spangaro[12].
Toulon . .	43,12	—	17,50	—	Gasparin[15].
Toulouse .	43,60	446	23,66	—	Gasparin[15].
Townley . .	53,75	—	38,47	—	Dalton[22].
Trient . .	46,16	754	33,35	—	Eberle[12].
Trier . . .	49,77	379	27,90	146	Schübler[7].
Triest . . .	45,63	265	32,00	—	Schübler[7].
Troyes . .	48,30	—	·22,40	140	Rondeau[6].
Tübingen .	48,52	1010	23,90	110	Schübler[7].
Turin . . .	45,07	738	24,86	100	Bonin[81].
Udine . . .	46,15	66	59,57	—	Asquini[12].
Ulm . . .	48,40	1130	25,15	—	Schübler[7].
Upminster .	51,75	—	18,30	—	Dalton[22].
Upsala . .	59,85	—	14,41	—	Celsius, Hiörter[82].
Utrecht . .	52,08	—	23,20	—	Brisson[4].
Vallerie, La	46,12	—	23,80	146	De Monroy[83].
Venedig . .	45,42	12	29,90	—	Schübler[7].
Vera Cruz .	19,20	—	62,17	—	v. Humboldt[78].
Verona . .	45,43	157	34,56	84	Cagnoli[84].
Vicenza . .	45,45	—	41,06	—	Kämtz[12].
Vinoix, St. .	—	—	23,94	—	Guillin[6].
Viviers . .	44,50	—	33,97	98	Flaugergues[85].
Waith-Sutton	54,48	—	43,16	—	Dalton[22].
Weiſsenburg	49,03	564	25,90	—	Schübler[7].
Westchester	39,94	—	44,01	—	Darlington[86].
Westerås . .	59,55	—	17,33	—	Schouw[87].
Widdrington	55,00	—	19,72	—	Dalton[22].
Wien (?) .	—	—	44,80	—	Ungenannter[88].

80 Beobachtungsregister mspt.

81 Vassali Eandi in Mém. de Turin. 1805 bis 1808. p. 25.

82 Aus 28jähr. Beob. in Cotte Mém. II. 609.

83 Beob. von 1810 bis 1827 in Ann. de Chim. et Phys. XLII. 366.

84 Memor. della Soc. Ital. 1788 ff. Osserv. Met. agron. in Verona 1812 ff.

85 Aus 40jähr. Beob. in Bibl. univ. VIII. 127. Journ. de Phys. LXXXI. 104. Ann. Ch. Phys. XXVII. 400.

86 Silliman Amer. Journ. of Sc. IV. 327. XIV. 29.

87 Aus 14jähr. Beob. in specim. geograph. phys. p. 55.

88 North Amer. Review. XXXII. 56.

Orte.	Polhöhe.	Höhe p.Fufs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Wien . . .	48°,20	451	16,00	114	Schübler [7].
Wittenberg .	51,87	248	16,00	—	Brisson [4].
Würzburg .	49,80	525	14,06	141	Egel [5].
Zürich . .	47,36	1251	32,18	—	Scheuchzer [89].
Zwanenburg	52,50	—	24,35	—	Cotte [90].

i) Einflufs des Monds auf die Regenmengen.

Man hat seit langer Zeit behauptet, dafs der Anfang und das Aufhören des Regens an den periodischen Wechsel der Mondsphasen gebunden sey und dafs dieser Trabant überhaupt einen Einflufs auf die Regentage und die Quantität der hydrometeorischen Niederschläge äufsere. Später wurde die Thatsache bestritten, in den neuesten Zeiten aber aufs Neue, namentlich durch Flaugergues und Schübler, als der Erfahrung gemäfs vertheidigt, während andere, und namentlich ich selbst, bei ihrem Widerspruche beharrten. Weil jedoch der problematische Einflufs nicht blofs in Beziehung auf den Regen, sondern auch auf sonstige meteorische Processe statt finden soll und daher eine in dieser Beziehung allgemeinere Untersuchung fordert, so ist diese am geeignetsten für den Art. *Meteorologie*.

D. Elektrische Beschaffenheit des Regens.

Dafs die Luftelektricität beim Regen den schnellsten und stärksten Veränderungen ausgesetzt sey, ist aus den Erscheinungen des Gewitters auch denen hinlänglich bekannt, die in die genauere Kenntnifs der Meteorologie nicht eingeweiht sind. Inzwischen ist dieser Gegenstand bereits ausführlich abgehandelt worden und ich kann daher auf jene Untersuchungen verweisen[1]. M.

89 Naturhistorie des Schweitzerlandes. Zurich 1752. In Kämtz Meteor.

90 Aus 44jähr. Beob. in Cotte Mém. II. 613.

1 S. Art. *Luftelektricität*. Bd. VI. S. 485.

Regenbogen.

Iris, Arcus coelestis; Arc en ciel; *Rainbow.* Der Name des farbigen Bogens, der sich im herabfallenden Regen oder anscheinend in der Regenwolke zeigt, wenn es beim Sonnenschein der Sonne gegenüber regnet. *Regengalle* heiſst an einigen Orten der unvollkommene Regenbogen, von dem nur Stücke nahe am Horizonte gesehn werden.

I. Beschreibung und Theorie der beiden Regenbogen.

Man sieht, wenn die Erscheinung vollständig ist, zwei farbige Bogen, die sich beide an der Seite des Himmels, welche der Sonne gegenüber liegt, zeigen. Sie sind concentrisch und man überzeugt sich leicht, daſs beide Bogen ihren Mittelpunct genau der Sonne gegenüber haben, in der Richtung nämlich, wohin der Schatten des Kopfs des Beobachters fällt. Der innere Bogen heiſst, seiner viel lebhafteren Farben wegen, der *Hauptregenbogen* (*iris primaria*), der äuſsere der *Nebenregenbogen* (*iris secundaria*). Der Hauptregenbogen zeigt die Farben des prismatischen Farbenbilds und zwar macht das Roth den äuſsern Rand, oder der Halbmesser des rothen Bogens ist gröſser, als der Halbmesser der übrigen im Hauptregenbogen vereinigten Farbenbogen, die sich in eben der Ordnung, wie im prismatischen Farbenbilde, an einander reihn, so daſs der violette Bogen den innern Rand bildet. Eine Wiederholung des Grün und Violett am innern Rande, welche man oft beobachtet, gehört eigentlich nicht mehr zu dem Hauptregenbogen, sondern bedarf, als ein andrer Nebenbogen, einer besondern Erklärung. Die Farben gehn sehr verwaschen in einander über und zeigen sich nicht so rein gesondert, wie man sie in dem Farbenbilde des Prisma's zu erhalten pflegt. In dem äuſsern Regenbogen erscheinen die Farben in entgegengesetzter Ordnung, so daſs das Violett den äuſsern Rand bildet, das Roth den innern Rand oder den Bogen, dessen Halbmesser am kleinsten ist. Daſs die Regentropfen und nicht die Wolke die Veranlassung zur Entstehung des Regenbogens geben, sieht man daraus, daſs der

untere Theil des Regenbogens oft in seinem vollen Glanze vor den Gegenständen auf der Erde sichtbar ist und diese zu bedecken scheint; steht der Beobachter hoch, so kann er den Regenbogen zuweilen, als beinahe einen ganzen Kreis bildend, auch vor den nicht sehr entfernten, unter ihm liegenden, Gegenständen sehn. Der Regenbogen zeigt sich nur bei Sonnenschein und zwar ist es nicht so unbedingt erforderlich, dafs die Sonne an dem Orte von Wolken frei sey, wo der Beobachter sich befindet, sondern dafs sie auf die Regentropfen in der Gegend, wo die Erscheinung des Regenbogens entsteht, ungehindert ihre Strahlen werfe. Ist die Sonne für einige der Gegenden, wo der Regenbogen erscheinen sollte, bedeckt, so ist dort der farbige Bogen unterbrochen.

Obgleich die Sonne am meisten geeignet ist, die Regenbogen hervorzubringen, so besitzt doch auch der Mond hierzu Licht genug, und es kann sich daher ein *Mondregenbogen* zeigen, den schon Aristoteles gekannt hat und der später nicht so sehr selten beobachtet worden ist. Wegen der Schwäche des Mondlichts hat man zuweilen die Farben nicht unterscheiden können, sondern diese Bogen nur als weifse oder gelbliche Bogen gesehn. In einzelnen Fällen zeigen sie aber doch auch Farben, und man hat es der Mühe werth gefunden, Beispiele der Art zusammenzustellen[1].

Man sieht den Regenbogen auch zuweilen im Nebel weifs und ohne Farben, vermuthlich weil das geschwächte Sonnenlicht das Erkennen der Farben nicht gestattet.

Die Entstehung des Hauptregenbogens läfst sich vollkommen durch Lichtstrahlen, die in den Regentropfen zwei Brechungen und eine Zurückwerfung erleiden, erklären. Betrachtet man zuerst nur *einen* auf die Wasserkugel B D fallen- Fig. 227.

---

1 Montucla hist. des math. II. 545. G. XI. 480. De Zach Corr. Astr. X. 542. Dafs selbst dann ein Mondregenbogen erscheinen kann, wenn der Mond im ersten Viertel ist, zeigt eine Beobachtung im Philos. Magaz. 1833. Apr. p. 317. — v. Lindenau macht in der astr. Zeitschr. II. 349. auf die Verschiedenheit aufmerksam, die man bei Mondregenbogen darin beobachtet hat, dafs sie zuweilen Farben zeigen, zuweilen nicht. Bei künftigen Beobachtungen wäre wohl eine Aufmerksamkeit auf den Umstand, ob der Mond mit hellem oder trübem Lichte schien und ob davon der Unterschied abhängt, zu wünschen.

den Sonnenstrahl AB, so ist es offenbar, dafs dieser bei B gebrochen nach BD gehn wird und hier zwar zum Theil abermals gebrochen hervorgeht, theils aber, an der Hinterseite des Tropfens zurückgeworfen, nach E gelangt, von wo er wiederum gebrochen nach EF hervorgeht. Wenn man die von einerlei Puncte der Sonne ausgehenden Strahlen AB, ab betrachtet, so findet man im Allgemeinen, dafs diese parallel einfallenden Strahlen nicht auch parallel wieder hervorgehn, sondern divergiren und daher auf das Auge nur einen schwachen Eindruck machen; aber für einen gewissen Punct B des Tropfens ist die Brechung eine solche, dafs die dort parallel auffallenden Strahlen auch als parallel wieder hervorgehn und daher unzerstreut dem Auge einen lebhaften Eindruck gewähren. — Die in dieser Richtung durch Reflexion zu uns gelangenden Strahlen sind es, die uns den im Regenbogen sich zeigenden lebhaften Glanz darbieten, oder es sind die *wirksamen Strahlen*. Es sey AC derjenige Lichtstrahl, welcher, von einem entfernten Puncte A ausgehend, durch den Mittelpunct C des Tropfens geht; BD sey ein mit AC paralleler Strahl, der bei D gebrochen nach DE fortgeht, so liegt E von dem verlängerten Strahle AC, der in F die Hinterseite des Tropfens trifft, entfernt und der Winkel FCE $= \psi$ ändert sich, wenn der Winkel ACD $= \varphi$ sich ändert, oder jeder mit BD parallel einfallende Strahl trifft im Allgemeinen einen andern Punct E an der Hinterfläche; aber ψ erreicht bei fortwährendem Wachsen von φ ein Maximum, und für die Strahlen LM, welchen ein diesem Maximum entsprechender Werth von φ zugehört, gelangen die benachbarten Strahlen lm, obgleich sie in einem etwas verschiedenen Puncte m auffallen, doch zu demselben Puncte N, und diese Strahlen sind die *wirksamen Strahlen*, die uns die Erscheinung des Regenbogens gewähren, indem sie nach der Zurückwerfung in OP, op parallel ausfallen. Um den Werth von φ zu bestimmen, der dieses Maximum für ψ giebt, erhält man, da φ der Einfallswinkel des Strahls BD ist und folglich Sin. CDE $= \mu$. Sin. φ, wenn μ das Brechungsverhältnifs beim Uebergange des Strahls aus Luft in Wasser bezeichnet, $\psi = ECF = 2CDE - \varphi$. Da ψ ein Gröfstes werden soll, so mufs $d\psi = o$ und d. CDE $= \frac{1}{2} d\varphi$ seyn, oder, da Sin. CDE $= \mu$ Sin. φ ist,

Fig. 228.

$$\text{Cos. } CDE \,.\, \tfrac{1}{2} d\varphi = \mu \text{ Cos.}\varphi \,.\, d\varphi$$
$$\text{oder Cos. } CDE = 2\mu \text{ Cos. } \varphi,$$
$$\text{zugleich Sin. } CDE = \mu \text{ Sin. } \varphi,$$
$$\text{also } 1 = \mu^2 (\text{Sin.}^2 \varphi + 4 \text{ Cos.}^2 \varphi),$$
$$1 = \mu^2 (4 - 3 \text{ Sin.}^2 \varphi),$$
$$\text{woraus Sin.}^2 \varphi = \tfrac{1}{3} \left(4 - \frac{1}{\mu^2}\right)$$
$$\text{oder Cos.}^2 \varphi = \tfrac{1}{3} \left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \text{ folgt.}$$

Die Strahlen also, welche für ψ den gröfsten Werth geben, fallen bei dem Wassertropfen, wo $\frac{1}{\mu}$ für die mittlern Strahlen $= 1{,}3356$ ist, da auf, wo

$$\varphi = 59^\circ\ 15'\ 35'' = QM.$$

Wenn M diesen Punct vorstellt, so ist es einleuchtend, dafs, weil der benachbarte Strahl lm nun auch in N eintrifft, die von N reflectirten Strahlen NO, No und die aus dem Tropfen gebrochen hervorgehenden Strahlen OP, op eben die Lage gegen CN an der andern Seite dieses Radius haben, wie LMN, lmN an der ersten Seite; die Strahlen LM, lm sind also parallel, statt dafs zwei andere, nahe an einander parallel einfallende Strahlen BD, bd, nachdem sie in E, e reflectirt worden sind, bei GH, gh divergirend hervorgehn. Ein Auge in P sieht also nach der Richtung PO ein kleines Sonnenbild, und da der Glanz dieses Sonnenbilds durch alle in eben der Richtung liegende Tropfen X, Y, Z verstärkt wird, so zeigt sich in dem Abstande von dem der Sonne entgegengesetzten Puncte, den der Winkel zwischen den verlängerten Strahlen LM und PO angiebt, ein Punct des Regenbogens. Offenbar ist für jeden in BD einfallenden und in GH ausfallenden Strahl, wenn man ihre Richtungen verlängert, bis sie sich in U schneiden, $BUG = 2 \,.\, BUC = 2 \,.\, \psi$; also giebt $2\,\psi$, wenn man dafür den dem Maximum entsprechenden Werth setzt, an, wie weit der Punct im Regenbogen von dem der Sonne genau entgegengesetzten Puncte, dem Puncte, wohin der Schatten des beobachtenden Auges fällt, liegt, oder, wenn PR mit AC, BD, LM parallel ist, hat man $RPO = 2\psi$.

Fig. 229.

Fig. 228.

Aus dem vorhin gefundenen Werthe für $\varphi = 59^\circ\ 15'\ 35''$, welcher den gröfsten Werth für ψ giebt, folgt CDE oder

vielmehr $CMN = 40° 3' 20''$, $\psi = 20° 51'$, $OPR = 41° 42$. Dieses ist also der scheinbare Halbmesser des Hauptregenbogens und der Regenbogen erscheint als ein Kreis, weil die ganz gleiche Betrachtung für alle Tropfen statt findet, die in gleichem Winkel-Abstande von der durch den leuchtenden Punct und das Auge des Beobachters gezogenen Linie liegen.

Dieser glänzende Kreis, gleichsam zusammengesetzt aus einer Menge von Sonnenbildern, die dem Auge das von der Hinterseite des Tropfens reflectirte Licht zusenden, würde weiſs erscheinen, wenn keine ungleiche Brechung der Farben statt fände; aber da für jeden andern Werth von μ auch der dem Maximum zugehörende Werth von φ und folglich ψ sich ändert, so erhält der violette Bogen im Hauptregenbogen einen andern Halbmesser, als der rothe. Man überzeugt sich auch leicht, daſs der Halbmesser des violetten Bogens der kleinere ist; denn da $\text{Sin.}^2 \varphi = \frac{1}{3}\left(4 - \frac{1}{\mu^2}\right)$ kleiner wird, wenn für den mehr gebrochenen Strahl $\frac{1}{\mu}$ gröſser ist, so wird auch CDE und ψ kleiner. Für die violetten Strahlen ist $\frac{1}{\mu} = 1{,}33888$, für die rothen $= 1{,}33209$, und es wird daher für jene $\varphi = 59° \; 3' \; 50''$, $2\psi = 41° \; 13' \; 40''$, für diese $\varphi = 59° \; 27' \; 50''$, $2\psi = 42° \; 12'$, und der violette Bogen würde um ungefähr einen Grad von dem rothen entfernt seyn, wenn die Sonne als ein bloſser Punct erschiene [1].

Da die Sonne einen so bedeutenden scheinbaren Halbmesser hat, so muſs man eben die Betrachtung für jeden Punct der Sonne wiederholen und es müſste jede Farbe, wenn sie allein da wäre, einen Bogen, so breit als der scheinbare Durchmesser der Sonne, darstellen. Diese einzelnen Farbenbogen bedecken einander, und da zum Beispiel der gelblich grüne Bogen, durch Strahlen von mittlerer Brechung hervorgebracht,

---

1 Ich habe hier nach den von Fraunhofer angegebenen Brechungsverhältnissen gerechnet; nach Newton's Angaben für die Brechung und Farbenzerstreuung im Wasser, mit welchen Brewster nahe übereinstimmt, würde man des violetten Bogens Halbmesser $= 40° \; 17'$, des rothen $= 42° \; 2'$ finden, aber die Farbenzerstreuung im Wasser ist wohl nicht so groſs.

zwischen Kreisen von den Halbmessern $= 41° 26'$ und $= 41° 57'$ begrenzt seyn sollte, der rothe von 41° 57′ bis 42° 28′, der violette von 40° 59′ bis 41° 30′ sich erstrecken sollte, so bedecken die mittleren Farben einander und nur die äufsersten Farben treten reiner hervor. Wenn das Wasser eine gröfsere Farbenzerstreuung bewirkte oder auch, wenn der Halbmesser der Sonne uns kleiner erschiene, so würden die Farben sich reiner getrennt im Regenbogen zeigen.

Der Regenbogen kann nicht über dem Horizonte erscheinen, wenn die Höhe der Sonne mehr als 42° beträgt, bei niedrigerem Stande der Sonne ist sein Bogen desto höher, je niedriger die Sonne steht, und beim Aufgange oder Untergange der Sonne erscheint er als voller Halbkreis. Wenn die Sonne beim Aufgange oder Untergange sehr roth erscheint, so zeigt auch der Regenbogen fast keine andern Farben, als roth und gelb, und desto weniger von andern Farben, je röther die Sonne selbst gefärbt ist[1].

Wenn man genau auf die scheinbare Erhellung des grauen Himmels unter dem Hauptregenbogen und ganz nahe über demselben achtet, so findet man, dafs der Himmel dunkler oberhalb des Regenbogens als unterhalb erscheint. Diese Verschiedenheit läfst sich leicht erklären. Befindet sich nämlich das Auge in P, so erhält es zwar nur aus den nach der Richtung PO liegenden Tropfen die eigentlich wirksamen Strahlen; aber ein in S liegender Tropfen würde doch genau ebenso nach P einen von der Rückseite reflectirten Strahl senden, wie der in E zurückgeworfene Strahl nach H gesendet wird. Das Auge P erhält demnach von allen unterhalb der Richtung PO liegenden Tropfen nicht blofs Licht, das von der Vorderseite reflectirt wird, sondern zugleich ein von der Hinterseite reflectirtes, wenn gleich wegen der Divergenz der Strahlen nur sehr schwaches Licht. Dagegen erhält das Auge P von der Richtung PT her gar kein an der Hinterseite irgend eines Tropfens reflectirtes Licht, indem aus dem Tropfen DMN nirgends ein von der Rückseite zurückgeworfener Strahl in einer mit TP parallelen Richtung hervorgeht. Die zwischen Q und M einfallenden Strahlen werden in Puncte, die zwi-

1 Mém. de Paris 1708. 109. G. LXII. 113. Misc. naturae curios. Dec. 2. Ann. 3. 24.

schen F und N liegen, reflectirt und machen nach dem Hervorgehn einen kleinern Winkel als OPR mit PR; aber auch die jenseits m auffallenden Strahlen werden von Puncten, die zwischen F und N liegen, reflectirt und haben nach dem Hervorgehn Richtungen, die weniger als OP gegen PR geneigt sind. Ein nach PT sehendes Auge erhält daher zwar noch Lichtstrahlen, die von der Vorderseite der Tropfen reflectirt werden, aber keine von der Hinterseite reflectirte; es sieht daher den Himmel oder die graue Regenwand oberhalb des Hauptregenbogens mit schwächerem Lichte. In Beziehung auf dieses plötzlich ganz fehlende Licht von der Hinterseite des Tropfens bemerkt Cartesius ganz richtig, daſs die äuſsere Seite des Hauptregenbogens schärfer begrenzt sey, als die innere, und daſs der Nebenregenbogen sich an der innern Seite schärfer begrenzt zeige. Es wird sich nämlich aus den folgenden Betrachtungen ergeben, daſs von den Tropfen, die dem Auge zwischen beiden Regenbogen erscheinen, weder durch einmalige noch durch zweimalige Reflexion von der Hinterseite Strahlen zugesandt werden, wogegen Tropfen, die sich unter dem Hauptregenbogen befinden, doch einige Strahlen durch einmalige Reflexion von der Rückseite, und Tropfen, die sich oberhalb des Nebenregenbogens befinden, doch einige Strahlen durch zweimalige Reflexion von der Rückseite dem Auge zusenden.

Es ist wohl nicht ganz überflüssig, hier noch einem Zweifel zu begegnen, der mit Grund aufgeworfen werden könnte, wenn man nur an einen einzigen Tropfen denkt. Nimmt man nämlich gleiche Bogen Dd = Mm, den letzten in der Gegend, wo die wirksamen Strahlen einfallen, den andern an einer beliebigen Stelle, so ist es zwar einleuchtend, daſs eine Fläche in Pp etwas stärker erleuchtet werden wird, als eine Fläche Hh, indem auf jener, auch wenn man sich weiter entfernt, die parallelen Strahlen immer gleiche Erleuchtung bewirken, während auf Hh schon in wenig vergröſserter Entfernung die Erleuchtung durch die Divergenz der Strahlen vermindert wird; aber es scheint, daſs man doch einigermaſsen einen allmäligen Uebergang von der stärkern Erleuchtung zur schwächern wahrnehmen müſste. Dieses würde allerdings der Fall seyn, wenn nur *eine* Wasserkugel oder allenfalls einige wenige nahe hinter einander liegende diese Wirkung her-

Fig. 228.

vorbrächten; dagegen wenn tausend Tropfen zusammenwirken, so verhält es sich ganz anders. Man kann nämlich, ohne wesentlich von der Wahrheit abzuweichen, sagen, dafs tausend Tropfen die Erleuchtung in Pp auf das Tausendfache verstärken werden, wenn sie alle in der Richtung PO liegend (wie Fig. 229 zeigt) ihr ungeschwächt zusammenbleibendes Licht auf Pp werfen; dagegen ist es offenbar, dafs die Divergenz der nach den Richtungen GH, gh ausfallenden Strahlen eine Verbreitung auf gröfsere Räume, statt des Raums Hh, bewirken mufs, je entfernter die Tropfen sind, dafs also tausend Tropfen in der Richtung HG zwar alle einen kleinen Beitrag zu der Erleuchtung in H liefern, aber bei gröfserer Entfernung einen immer geringern Beitrag, so dafs sie, statt die tausendfache Erleuchtung zu bewirken, diese nur in unbedeutendem Mafse erhöhn. So erklärt sich also leicht der beinahe plötzliche Uebergang von dem hellen Lichte des Regenbogens zu dem dunkeln Grau in dem innern umschlossenen Raume.

Der zweite Regenbogen entsteht durch Strahlen, die an der Hinterseite des Tropfens zwei Zurückwerfungen nach dem Innern zurück erlitten haben. Dafs auch hier nur diejenigen Strahlen die *wirksamen* seyn können, welche nach dem Hervorgehn aus dem Tropfen parallel bleiben, erhellt ohne Schwierigkeit aus dem Vorigen; es läfst sich auch leicht übersehn, dafs dieses dann statt findet, wenn die zwischen dem ersten und zweiten Reflexionspuncte gezogene Sehne für zwei einander sehr nahe Strahlen parallel bleibt, und dafs dieser Fall nur eintreten kann, wenn der Einfallspunct B an der untern Seite des durch den Mittelpunct gehenden Strahls liegt, vorausgesetzt nämlich dafs die Sonnenstrahlen von oben herabwärts gehn. Fig. 230.

Es sey ECD der durch den Mittelpunct des Tropfens gehende Strahl und in B, wo $ACB = \varphi$, falle ein Sonnenstrahl FB mit EC parallel auf. Dafs dieser Strahl nach BG gebrochen, dann nach GH und zum zweiten Male nach HI zurückgeworfen nach der Richtung IK hervorgeht, läfst sich leicht übersehn. Es erhellt auch, dafs der die ganze Figur symmetrisch theilende Radius CL so bestimmt wird, dafs $\psi = ACB + BCG + GCL = \varphi + 270^\circ - 3.CBG$, zugleich aber $\text{Sin. } CBG = \mu \text{ Sin. } \varphi$ und $d\psi = 0$ ist, für den

hier gezeichneten Strahl, dessen zunächst benachbarter fb in gh mit GH parallel ist. Wir haben also

$$d\psi = 0 = d\varphi - 3.d.CBG$$

$$\text{und } d.CBG = \frac{\mu\, d\varphi.\ \text{Cos. } \varphi}{\text{Cos. CBG}},$$

$$\text{das ist } 3\mu\ \text{Cos. } \varphi = \text{Cos. CBG},$$

$$1 = 9\ \mu^2\ \text{Cos.}^2\ \varphi + \mu^2\ \text{Sin.}^2\ \varphi = 9\ \mu^2 - 8\ \mu^2\ \text{Sin.}^2\ \varphi$$

$$\text{und Sin.}^2\ \varphi = \tfrac{9}{8} - \frac{1}{8\ \mu^2}.$$

Führe ich also sogleich die Rechnung doppelt für den violetten und rothen Strahl, so ist der hier geltende Werth

$$\text{von } \varphi \begin{cases}\text{für jenen} = 71^\circ\ 39',\\ \text{für diesen} = 71^\circ\ 52',\end{cases}$$

$$\psi = \begin{cases}206^\circ\ 12'\\ 205^\circ\ 19'\end{cases};$$ der Winkel, den der zurückgeworfene Strahl IK mit dem Sonnenstrahle FB macht,

$$\begin{cases} = 2.(26^\circ\ 12') = 52^\circ\ 24'\\ = 2.(25^\circ\ 19') = 50^\circ\ 38'\end{cases},$$ so dafs im zweiten Regenbogen, wenn man noch den Halbmesser der Sonne berücksichtigt, der innere Rand des rothen Bogens nur 50° 22′, der äufsere Rand des violetten Bogens 52° 40′ von dem der Sonne entgegenstehenden Puncte entfernt ist. Der Zwischenraum zwischen beiden Bogen ist also 8°, die Breite des zweiten Regenbogens 2° 20′ ungefähr.

Dieser Bogen begrenzt wieder die Gegend, von welcher Strahlen nach zweimaliger Reflexion im Innern des Tropfens gelangen. Der Strahl ED würde in D zum ersten Mal, in A zum zweiten Mal zurückgeworfen zu einem Auge bei Z gelangen, also aus eben der Richtung kommen, wo die Sonne selbst steht. Strahlen, die zwischen A und B auffallen, zum Beispiel SR, erhalten nach RQ, QP, PO gebrochen und zurückgeworfen und dann hervorgehend eine zwischen DZ und IK liegende Richtung ON, so dafs von der Sonne aus bis an den zweiten Regenbogen sich Tropfen befinden, die nach zweimaliger Reflexion Strahlen zu dem Beobachter senden, dieser zweite Regenbogen aber hier die Grenze bildet[1].

Man könnte eben diese Theorie auf einen durch dreimalige Zurückwerfung entstehenden Regenbogen anwenden, für den

1 G. LXII. 114.

$d\varphi = 4 d . CBG$ seyn müfste, also $\text{Cos.}^2 \varphi = \frac{1}{15}\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right)$, statt dafs dieses Quadrat für den zweiten Bogen $= \frac{1}{8}\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right)$, für den ersten $= \frac{1}{3}\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right)$ wurde. Dieser dritte Regenbogen würde nur 41^0 von der Sonne entfernt, aber, da bei jeder Reflexion so sehr viel Licht verloren geht, nur sehr schwach seyn. Dafs man diesen Regenbogen gewöhnlich nicht sieht, ist leicht zu begreifen, indefs hat Bergmann ihn zweimal beobachtet und seinen Halbmesser ungefähr 42° gefunden[1].

II. Regenbogen in ungewöhnlicher Lage.

Man hat öfters eine Erscheinung ganz dem Regenbogen ähnlich in den Thautropfen auf einer Wiese oder in den Wassertropfen der Meereswellen gesehn, und diese Bogen sind es, die unter dem Namen *arc-en-terre*, *arc-en-mer* bekannt sind; im Deutschen scheint es keinen eignen Namen dafür zu geben. Die Erscheinung besteht darin, dafs ein farbiger Bogen, ganz dem Regenbogen zu vergleichen, aber von elliptischer oder oft von hyperbolischer Form sich auf dem Boden ausdehnt. Er kann in Tropfen nahe über der Erde oder in Thautropfen auf der Erde entstehn; denn es ist offenbar, dafs ein Auge in O, wenn in OS die Sonne steht, einen Farbenglanz in dem Tropfen L, in den Tropfen M, N, Q sehn wird, wenn diese Tropfen 42° von der nach OP verlängerten SO entfernt erscheinen oder wenn POL = POM = PON = POQ = 42° ist. Das Auge sollte nämlich den Kreis RL als Regenbogen sehn, aber es referirt diesen Kreis auf die Wiesenfläche oder Meeresfläche, und da erhält die Linie MLNQ eine elliptische, parabolische oder hyperbolische Form, so wie es die Lage der Ebene des Bodens gegen die Kegelfläche OLR fordert[2].

Fig. 231.

1 Abh. der Schwed. Acad. für 1759. S. 234.

2 Beispiele solcher Beobachtungen sind: Phil. Tr. 1721. 229. Phil. Tr. 1751. 248. de Zach Corr. astr. X. 546. Miscell. acad. nat. curios. Dec. 2. A. 5. p. 273. Der Scheitel des hyperbolischen Bogens,

Die Regenbogen, die man in den Tropfen der Wasserfälle, in den an Mühlrädern umhergeschleuderten Tropfen, selbst in den Tropfen, die beim Fahren im Wasser umherspritzen, zu beobachten pflegt, gehören gleichfalls hierher.

Ebenso leicht sind die meisten Erscheinungen doppelter Regenbogen zu erklären. Diese sieht man nämlich, wenn man sich nahe genug an einer grofsen und stillen Wasserfläche befindet, aus welcher die zurückgeworfenen Sonnenstrahlen auf die Regentropfen fallen und so den doppelten Regenbogen hervorbringen. Da hier zwei Sonnen, eine ebenso tief unter dem Horizonte, als die andere über dem Horizonte ihre Strahlen auf die Tropfen werfen, so müssen um beide jenen zwei Sonnen entgegengesetzte Puncte sich Regenbogen bilden, und wirklich haben auch die oft genug beobachteten vier Regenbogen, zwei Hauptregenbogen und zwei Nebenregenbogen, ganz die Lage, die dieser Ursache gemäfs ist. Ich selbst habe einen solchen vierfachen Regenbogen am Ufer der Nordsee gesehn, wo die Wasserfläche zwischen mir und der Sonne lag, und ich bin überzeugt, dafs man die Erscheinung am Meere und auf dem Meere oft sehn müfste, wenn nicht das Bild der Sonne in den Wellen oft so unbestimmt und ausgedehnt wäre, dafs dadurch die Erscheinung aufgehoben wird[1]. Ist die Wasserfläche still genug, so zeigen sich die Farben auch in den durch die abgespiegelte Sonne hervorgebrachten Regenbogen mit sehr schöner Lebhaftigkeit.

Bei diesen Erscheinungen durchschneiden sich die beiden Hauptregenbogen und ebenso die beiden Nebenregenbogen am Horizonte; es läfst sich daher eine Beobachtung[2], wo ein ungewöhnlicher Regenbogen den Hauptregenbogen in seinem höchsten Puncte durchkreuzte, nicht auf diese Weise erklären, sondern man mufs für diesen ungewöhnlichen Fall annehmen, dafs da eine sehr helle und nur kleine Wolke neben der Sonne stand, deren Glanz stark genug war, um einen andern Regenbogen hervorzubringen.

---

der in Thautropfen erschien, war nur 3 Fufs vor den Füfsen des Beobachters, dessen Schatten gegen 10 Fufs lang war.

1 Beispiele solcher Beobachtungen: Phil. Tr. 1698. 193. Phil. Tr. 1793. 1. Mém. de Paris 1743. hist. 43. G. LXII. 124. Poggend. IV. 111. Baumgartner's Zeitschr. III. 201.

2 Phil. Tr. 1666. 221.

Zu den doch wohl ohne Zweifel mit dem Regenbogen verwandten Phänomenen gehört auch noch der von einigen Beobachtern um den Schatten ihres Kopfs im Nebel wahrgenommene grofse Ring. Die kleineren Kreise, die den Schatten des Kopfs in solchen Fällen umgeben, sind wohl als mit den Höfen verwandt anzusehn[1], aber SCORESBY sah um diese kleinern Kreise noch einen gröfsern von 38° 50′ Halbmesser, der breit und weifs war; BOUGUER hat den Halbmesser eines ebensolchen Kreises sogar noch unter 34° gefunden[2], und man kann daher wohl den Umstand, dafs der Halbmesser merklich kleiner als bei dem Regenbogen ist, als erwiesen annehmen. Wäre, wie ältere Angaben es vermuthen liefsen, für Eis die Brechung durch $\mu = 0{,}713$ bestimmt[3], so würde ein Regenbogen in Eiskügelchen einen Halbmesser von 33° haben, indem $\varphi = 55° \, 24'$, also der Halbmesser $= 32° \, 54'$ würde; aber BREWSTER legt für Eis der Brechung den durch $\mu = 0{,}7728$ bestimmten Werth bei und hiernach müfste der Halbmesser des Eisregenbogens 46° seyn. Da man die Richtigkeit der letztern Angabe nicht bezweifeln kann, so scheint mir dieser Ring noch einer andern Erklärung zu bedürfen, und der noch etwas gröfsere Kreis, den SCORESBY zugleich auch sah und den man mit dem Nebenregenbogen zu vergleichen geneigt seyn würde, läfst sich aus BREWSTER's für μ gefundenem Werthe nicht erklären.

III. Der Nebenbogen an der innern Seite des Hauptregenbogens.

Es ist eine sehr oft vorkommende Erscheinung, dafs der Hauptregenbogen, der durch den violetten Bogen unten begrenzt seyn sollte, an diesem noch einen zweiten grünlichen, dann einen zweiten violetten, einen dritten grünlichen und dritten violetten Bogen zeigt, die sich nach der oben mitgetheilten Theorie nicht erklären lassen. Diese Farbenwiederholungen, die immer nur matt sind, zeigen sich nur an dem

---

1 Vergl. Art. *Hof.* Bd. V. S. 441.

2 G. XVIII. 72.

3 ERXLEBEN's Naturl. §. 343., wo aber der Beobachter nicht angegeben wird.

obern Theile des Regenbogens und werden, wenn man von der Gegend, wo der Bogen horizontal ist, zu den Schenkeln herabgeht, immer matter, so dafs sie schon in sehr bedeutender Höhe über dem Horizonte ganz unkenntlich werden.

In den zahlreichen Fällen, wo ich selbst diese Nebenbogen gesehn habe, zeigten sich nur jene beiden Farben mehrmals wiederholt, das Grün immer weniger rein, als das Violett, die zweite Farbenwiederholung schwächer, als die erste; aber es sind auch Fälle vorgekommen, wo man in diesen Nebenbogen alle Farben wahrgenommen hat. So beschreibt Langwith einen Regenbogen, wo sich an der innern Seite die gewöhnlichen Farben wiederholten und an diese noch Grün und Violett sich anschlofs [1]. Muncke beobachtete einen Regenbogen, in welchem sich da, wo das Violett des Hauptbogens matter ward, ein neuer hellerer Bogen anschlofs; alle übrige Farben, bis zum Roth hin, lagen innerhalb, so dafs der Regenbogen genau doppelt erschien, nur mit dem Unterschiede, dafs dieser untere Bogen nur zwei Drittel der Breite des Hauptbogens und etwas mattere Farben hatte [2]. Eine andere Beobachtung, wo vier innere Bogen und zwei von tiefem Roth erschienen, ist in Rücksicht auf die Farben insofern minder genügend, als sie bei untergehender Sonne angestellt wurde, wo in Ermangelung der übrigen Farbenstrahlen das Roth sich hervortretender zeigen mufste und auch leichter helle Wolken der Abendröthe eine Vervielfachung des Regenbogens bewirken konnten [3]. Die Farben Grün und Violett, auch öfter wiederholt, sind nicht selten beobachtet worden [4]. Bouguer glaubt, diese Nebenbogen erschienen nur, wenn die Sonne recht heiter scheine und die Gegend um den Regenbogen recht dunkel sey, aber ich erinnere mich, diese Beobachtung auch dann gemacht zu haben, wenn der Regenbogen auf einem gar nicht so dunkeln Himmel erschien.

---

1 Phil. Tr. 1723. 241. Hier sind mehrere Beobachtungen beschrieben.

2 G. XXIII. 471.

3 Philos. Magazine. 1827. Decbr. 466.

4 Hamb. Magaz. X. 229. Legentil (Mém. de Paris 1757. 40.) sah diese Nebenbogen blau und zwar eben so lebhaft blau, als das Blau im Hauptbogen.

Diese Erscheinung ist, so viel ich weiſs, noch gar nicht genügend erklärt, und ich muſs mich daher begnügen anzugeben, was für Erklärungen man vorgeschlagen hat, wobei ich mich aber kurz werde fassen dürfen, indem alle bisherige Erklärungen viel gegen sich haben.

Die von einigen Schriftstellern geäuſserte Meinung, die ganze Erscheinung könne auf Täuschung beruhn, sie sey nur als aus subjectiven Farben entspringend anzusehn, ist gewiſs unrichtig. Wären es bloſs subjective Farben, so würde man sie am untern Theile des Regenbogens, an den herabgehenden Schenkeln, ebenso gut als oben sehn und ein Erscheinen aller Farben schiene ganz unmöglich.

Pemberton's Meinung[1], daſs die Wiederholung der Farben mit den Anwandelungen oder, nach unserer jetzigen Art zu reden, mit den Interferenzen in Verbindung stehe, hätte manches für sich, da die mehrmalige Wiederholung der Farben den Erscheinungen nicht unähnlich ist, die wir bei Newton's Farbenringen sehn. Aber ich sehe doch nicht ein, wie man bei der gewiſs statt findenden Ungleichheit der Tropfen es glaublich machen wollte, daſs hier eine so übereinstimmende Gleichheit oder genau gleiche Differenz in der Länge der durchlaufenen Wege statt finden sollte, wie sie bei den Interferenzen so unfehlbar nothwendig ist. Ebendiese Nothwendigkeit einer strengen Gleichheit scheint mir gegen Hellwag's Meinung, daſs Wellen auf der Oberfläche der Tropfen die Veranlassung dazu geben könnten, zu streiten.

Mehr hat Venturi's Erklärung für sich, welcher die Ursache dieses Phänomens in einer sphäroidischen Gestalt der Tropfen zu finden glaubt[2]. Wenn die Tropfen einen kürzern Verticaldurchmesser haben, so wird man ungefähr die Betrachtung so anstellen können, als ob der Lichtstrahl zwar in eine sphärische Oberfläche bei DBA einfiele, aber auf einer zweiten, nicht demselben Mittelpuncte angehörenden Kugelfläche SX reflectirt würde. Ist C der ersten Kugelfläche, Q der zweiten Kugelfläche Mittelpunct und ACS mit den einfallenden Strahlen IB parallel, so findet man den Punct X, Fig. 232.

1 Phil. Tr. 1723. 245.

2 G. LII. 385. Venturi Comm. sopra la Storia e le Teorie dell' Ottica.

wo zwei benachbarte Strahlen nach der Brechung zusammentreffen, durch folgende Betrachtung. Es sey $ACB = \varphi$ dem Einfallswinkel gleich, $\text{Sin. } CBE = \mu \text{ Sin. } \varphi$ und $bBE = 90° - \varphi + CBE$ oder $cXE = \varphi - CBE$, so erhält man, wenn $CA = QX = r$, für jeden Punct des gebrochenen Strahls die Gleichung $r \text{ Sin. } \varphi - z = (r \text{ Cos. } \varphi + x) \text{ Tang. } (\varphi - CBE)$, wenn man die Abscissen x von C nach a zu und die Ordinaten z senkrecht auf Ca nimmt. Diese Gleichung gilt für jeden Punct des gebrochenen Strahls; aber um den Durchschnittspunct dieses Strahls mit dem zunächst benachbarten zu finden, muſs man die vorige Gleichung differentiiren und $dx = dz = 0$ setzen, wo dann, da $d.CBE = \frac{\mu . d\varphi \text{ Cos. } \varphi}{\text{Cos. } CBE}$ ist,

$$r \text{ Cos. } \varphi = - r \text{ Sin. } \varphi \text{ Tang. } (\varphi - CBE) + \frac{(r \text{ Cos. } \varphi + x)}{\text{Cos.}^2 (\varphi - CBE)} \left(1 - \frac{\mu \text{ Cos. } \varphi}{\text{Cos. } CBE}\right)$$

hervorgeht, oder

$$r \text{ Cos. } \varphi . \text{ Cos. } (\varphi - CBE) + r \text{ Sin. } \varphi . \text{ Sin. } (\varphi - CBE) = \frac{(x + r \text{ Cos. } \varphi)(\text{Cos. } CBE - \mu \text{ Cos. } \varphi)}{\text{Cos. } CBE . \text{ Cos. } (\varphi - CBE)},$$

oder, da $\mu = \frac{\text{Sin. } CBE}{\text{Sin. } \varphi}$ ist,

$$r . \text{ Cos. } CBE = \frac{(x + r \text{ Cos. } \varphi) \text{ Tang. } (\varphi - CBE)}{\text{Sin. } \varphi . \text{ Cos. } CBE.}$$

Diese Gleichung mit der ersten zwischen x und z verbunden giebt den doppelten Werth

$$x + r \text{ Cos. } \varphi = \frac{r . \text{ Sin. } \varphi - z}{\text{Tang. } (\varphi - CBE)} = \frac{r . \text{ Sin. } \varphi . \text{ Cos.}^2 CBE}{\text{Tang. } (\varphi - CBE)}$$

oder $z = r . \text{ Sin. } \varphi . \text{ Sin.}^2 CBE = r \mu^2 \text{ Sin.}^3 \varphi$, woraus dann

$$x = - r \text{ Cos. } \varphi + \frac{r \text{ Sin. } \varphi (1 - \mu^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)}{\text{Tang. } (\varphi - CBE)}$$

$$= - r \text{ Cos. } \varphi + \frac{r \text{ Sin. } \varphi . \text{ Cos.}^2 CBE}{\text{Tang. } (\varphi - CBE)} \text{ folgt.}$$

Für einen bestimmten Werth von φ erhält man also beide Coordinaten des Durchschnittspuncts x zweier benachbarter Strahlen, und da die reflectirten Strahlen von diesem Puncte

ebenso divergirend ausgehn, wie sie convergirend dahin gelangten, so nimmt Venturi an, dafs sie bei R hervorgehend nun ebenso wirksame Strahlen geben, wie es bei den in der Kugel reflectirten Strahlen der Fall ist.

Wenn dieses sich so verhält, so wird allerdings ein Farbenbogen, niedriger als der Hauptregenbogen, entstehn, wenn der Durchmesser AS gröfser, als der Verticaldurchmesser ist; es wird auch dieser Bogen nur in den Tropfen am besten erscheinen, die nahe an dem obern Theile des Regenbogens liegen, indem in den niedrigern Tropfen je mehr und mehr die Brechung und Zurückwerfung in dem kreisförmigen Horizontaldurchschnitte statt findet; aber dennoch scheint es mir, dafs nur bei sehr bestimmter Gestalt der Tropfen es wahr seyn kann, dafs nun auch die bei R hervorgehenden Strahlen parallel bleiben, weshalb wir erst die Gestalt der Tropfen genau müfsten kennen lernen, ehe wir über die Richtigkeit dieser Erklärung urtheilen können[1]. Ein wichtiger Einwurf dagegen ist auch noch der, dafs sich doch schwerlich eine zweimalige oder dreimalige Wiederholung der Farben so erklären läfst, und ein anderer Einwurf ist, dafs diese Nebenbogen sich gegen den untern Theil des Regenbogens nicht allmälig an ihn anschliefsen (wie es wegen der je mehr und mehr kreisförmigen Querschnitte der Fall seyn sollte), sondern gleich entfernt bleiben, aber immer matter sich endlich ganz verlieren[2].

Da alle diese Erklärungen nicht genügend scheinen, so bin ich öfter wieder zu einem Erklärungsversuche zurückgekehrt, den ich schon vor langer Zeit bekannt gemacht habe; indefs, da auch dieser mir nicht genug sichere Gründe für sich zu haben scheint, so will ich ihn nur kurz erwähnen. Wir sehn so oft, wenn die Sonne mit dünnen Wolken bedeckt ist, Höfe von der Art, deren Durchmesser nur wenige

---

1 Dieser Gedanke, dafs eine genaue Kenntnifs der Gestalt der Tropfen dieser Untersuchung zur Grundlage dienen müsse, welchen ich einmal gegen den Prof. Scholz äufserte, veranlafste diesen, seine Abhandlung de figura guttae cadentis in aëre resistente (Bresl. 1826) zu schreiben.

2 Ich habe mich ehemals etwas günstiger über diese Erklärung geäufsert (G. LII. 385.), aber die angeführten Einwürfe scheinen mir doch ein grofses Gewicht zu haben.

Grade beträgt, um die Sonne; die Farben dieser Höfe sind, wie man am besten an der im Wasser gespiegelten Sonne sieht, von sehr glänzenden Farben und Grün und Violett sind vorzüglich darin kenntlich. Die Strahlen, die unserm Auge diese Höfe zeigen, fallen auch auf die Regentropfen, und ein Punct des grünen Hofs sollte einen grünen Regenbogen, ein Punct des violetten Hofs einen violetten Regenbogen u. s. w. hervorbringen. Denken wir nun zuerst nur an Puncte des Hofs, die gerade *über* der Sonne stehn, so würden diese einen innern Nebenbogen hervorbringen, und diesen vorzüglich nur durch die stärker brechbaren Farben, Grün, Blau, Violett, weil der rothe und gelbe Bogen sich mit dem Blau und Violett des Hauptbogens mischen und unkenntlich werden würde. Betrachten wir ferner die *unter* der Sonne stehenden Theile des Rings, so sollten diese einen Nebenbogen oberhalb des Hauptbogens hervorbringen; aber dieser Nebenbogen erscheint erstlich in Beziehung auf das Grün, Blau, Violett nicht, weil diese Farben von einem nicht sehr grofsen Hofe, nicht sehr entfernt von der Sonne, ausgehend noch auf den Hauptbogen fallen würden, und zweitens auch in Beziehung auf das Roth nicht, weil nach der Ordnung, welche die Farben in den Höfen beobachten, der aus dem grünen oder violetten Hofe hervorgehende, oberhalb des Hauptbogens liegende Nebenbogen sich mit dem rothen verbindet und daher keine Farbe kenntlich bleibt. So kann an der obern Seite des Regenbogens kein Nebenbogen entstehn, weil hier die den verschiedenen Farben des Hofs entsprechenden Nebenbogen auf einander fallen, wogegen sie an der innern Seite stärker getrennt erscheinen. Diese Betrachtung scheint einiges Vertrauen für diese Erklärung zu erwecken, aber es bleiben dennoch Schwierigkeiten übrig, die theils in der Schwäche jener Höfe, theils in dem Umstande liegen, dafs die Nebenbogen nur am höhern Theile des Bogens erscheinen[1]. Diese Nebenbogen verdienen daher immer noch genau beobachtet zu werden, indem die Aufmerksamkeit auf alle Umstände vielleicht zu einem genügendern Erklärungsgrunde führt.

---

1 G. XIX. 464.

IV. Geschichte der Meinungen über die Entstehung der beiden Regenbogen.

Obgleich die Alten, und namentlich Aristoteles, die Erscheinungen des Regenbogens sehr gut gekannt haben, so sind doch ihre Erklärungen höchst ungenügend, indem von einigen z. B. eine concave Wolke, worin eine Spiegelung statt finde, als die Veranlassung angesehn wurde[1]. Maurolycus hat ihn (wie Gehler angiebt) durch eine Reflexion an der innern Fläche des Tropfens erklärt, aber durch eine siebenmalige Reflexion, um den von ihm zu 45° angenommenen Halbmesser des Regenbogens zu erhalten[2]. Fleischer gab insofern eine richtigere Erklärung des Hauptregenbogens, als er eine zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung des Lichtstrahls annimmt, aber er fand nöthig, zwei Tropfen in Betrachtung zu ziehn, nämlich so, daſs der Lichtstrahl in dem ersten gebrochen werde und, nachdem er aus diesem hervorgegangen sey, am zweiten reflectirt werde[3]. Auch Keppler scheint an eine Zurückwerfung des Lichtstrahls gedacht, aber doch die richtige Erklärung nicht gefunden zu haben[4].

Als den, durch welchen die richtige Erklärung des Regenbogens zuerst verbreitet worden ist, sieht man den Marcus Antonius de Dominis an, der durch Versuche mit hohlen Glaskugeln, die mit Wasser gefüllt waren, fand, daſs ein an der obern Seite einfallender Strahl an der Hinterseite der Kugel zurückgeworfen und dann herabwärts hervorgehend, also nach zweimaliger Brechung und einmaliger Zurückwerfung, ein Sonnenbild zeige. Da jede Farbe, um so gesehn zu werden, eine etwas andere Stellung des Auges fordert, so zeigte er richtig, daſs jede Farbe einen eignen Kreis im Regenbogen bilden

---

1 Ideler meteorologia veterum Graecorum et Romanorum. p. 191.

2 Gehler's Wörterbuch, a. A., Art. *Regenbogen*. Bergmann giebt des Maurolycus Erklärung anders an (Schw. Abh. 1759. 234. der Uebers.). Des Maurolycus Buch hat den Titel: Photismi de lumine et umbra ad prospectivam radiorum et incidentiam facientes. Lugd. 1613. p. 57. — Venet. 1575.

3 De iride doctrina Aristotelis et Vitellionis certa methodo comprehensa. Viteb. 1571. und Scheibel de Fleischeri in doctrinam de iride meritis. Vratisl. 1762.

4 Kepleri epist. 152. 228.

müsse und dafs der Mittelpunct dieser Kreise der Sonne gerade gegenüber liege. Sein Buch[1] ist 1590 geschrieben, aber erst 1611 herausgegeben worden. Montucla spricht von diesem Manne sehr geringschätzig, wogegen Gehler ihn vertheidigt, und so weit ich, ohne sein Buch selbst gesehen zu haben, urtheilen kann, hat Gehler wohl Recht, dafs seine Untersuchung gut geführt und gründlich dargestellt ist, so dafs sie ausgezeichnetes Lob verdienen würde, wenn man sie als sein ganz vollkommenes Eigenthum ansehn dürfte. Ob man dieses darf, darüber wird wohl nie eine eigentliche Entscheidung möglich seyn; aber wenn de Dominis, so wie Montucla andeutet, nicht der Mann war, von dem man eine so gelungene Erklärung erwarten konnte, so bringt der Umstand, dafs er einen Vorgänger hatte, dessen Buch noch, aber nur als Manuscript, vorhanden ist, wenigstens die Möglichkeit der Vermuthung hervor, es habe dessen Buch ihn erst zu jenen eigenen Untersuchungen, die immer Dank verdienen würden, geleitet.

Dieser Vorgänger, auf welchen Venturi zuerst aufmerksam gemacht hat[2], ist ein Deutscher, Theodorich aus Freiberg, der sein Buch nach Venturi's Angabe im Anfange des 14ten Jahrhunderts, ums Jahr 1311, schrieb[3].

---

1 De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et in iride.

2 Comment. sopra la Storia e le Teorie dell' Ottica del Caval. G. Venturi. — Ein Auszug daraus in Ann. de Chém. et Phys. VI. 143.

3 Venturi fand eine Nachricht von den Schriften dieses Theodorich in einem Buche über die Schriftsteller aus dem Orden der Predigermönche und erhielt dann aus der Bibliothek in Basel ein Manuscript seines Buchs *de radialibus impressionibus et de iride.* Die Leipziger Universitätsbibliothek besitzt ein zweites Manuscript, das nach Dindorf's Beurtheilung gewifs nicht gar lange nach der von Venturi angegebenen Zeit geschrieben seyn mag; eine undeutliche, auf dem ersten Blatte stehende Zahl scheint 1341 anzugeben. Dieses Manuscript ist zwar nicht ganz vollständig, indem da, wo die ausgeführtere Theorie des Hauptregenbogens anfängt, mehrere Blätter fehlen und auch am Schlusse etwas fehlt, aber die Folge der Capitel ist dem von Venturi gegebenen Auszuge gemäfs. Eine neuere Hand hat als Titel am Anfange geschrieben: *Tractatus* Theodorich *de Vribch de yride*, und ein anderes, diesem Manuscripte beigebundenes Manuscript hat am Schlusse die Worte: *Explicit Tractatus magistri* Theodorici *Teutonici ordinis praedicatorum de* etc. Das Manuscript

Dieses Buch, welches zugleich von der Zurückwerfung und Brechung des Lichts handelt, stellt die Theorie sowohl des Hauptregenbogens, als des Nebenregenbogens umständlich dar. Er nimmt vier Farbenstrahlen an, den rothen, gelben, grünen und blauen, und giebt eine Zeichnung, in welcher die Art, wie diese Strahlen verschieden einfallen müssen, um in der Ordnung zu erscheinen, wie wir sie sehn, dargestellt wird. Er drückt sich über die Hauptumstände der Erscheinung, dafs der Strahl beim Eintritte in den Tropfen gegen das Perpendikel zu gebrochen werde, dann an der Hinterseite, nach den Gesetzen der Reflexion, unter gleichem Einfalls- und Reflexionswinkel zurückgeworfen werde und beim Hervortreten aus dem Tropfen vom Perpendikel abwärts gebrochen werde, ganz genau aus. Ebenso erklärt er den zweiten Regenbogen genau und vollständig. Seine Figuren zeigen, dafs er sehr wohl wufste, dafs der den äufsern Regenbogen gebende Strahl an der untern Seite des Tropfens eintreten und an dem obern Theile hervorgehn müsse; er bemerkt ausdrücklich, dafs der von der Sonne kommende und der vom Tropfen zum Auge gehende Strahl sich durchkreuzen müssen, kurz seine Erklärung ist so vollständig, als man es für eine Zeit, die nicht mit den Kenntnissen, welche Cartesius besafs, ausgerüstet war, nur immer erwarten kann. Venturi's Inhalts-Anzeige habe ich, so weit ich mir die Mühe habe zumuthen mögen, das schwer zu lesende Manuscript zu entziffern, richtig gefunden, seine Figuren sind den Figuren im Manuscripte völlig entsprechend, und ich kann daher die völlige Bestätigung, dafs Theodorich die wahre Theorie des Regenbogens gefunden habe, aus eigner Ansicht seines Buchs geben.

Viel später, aber, wie man schliefsen kann, unabhängig von Theodorich und de Dominis, hat Marcus Marci 1648 eine Theorie des Regenbogens gegeben, die nicht so in den einzelnen Umständen genau ist, wie die von Theodorich[1]. Seine

---

ist auf Pergament, der gröfste Theil von einer schwer zu lesenden Hand geschrieben. Ich verdanke einer Mittheilung des verstorbenen Mollweide die erste Nachricht von dieser Handschrift.

1 Thaumantias, liber de arcu coelesti etc. auct. Joann. Marco Marci. Pragae 1648.

Erklärung ist richtig, insofern er die Zurückwerfung an der Rückseite, einmal bei dem Hauptregenbogen, zweimal bei dem Nebenregenbogen, sachgemäſs in Betrachtung zieht und auch auf die Brechung beim Eintritte und Austritte genau und mit Voraussetzung eines ziemlich richtigen Brechungsgesetzes Rücksicht nimmt. Aber seine Versuche mit dem Prisma verleiten ihn anzunehmen, die Strahlen könnten nur dann Farben geben, wenn sie im Innern der Kugel unter einem Winkel von 30° gegen den Radius geneigt sind, also vor dem Eintritte und nach dem Austritte einen Winkel von 41° 34′ mit dem Radius bilden. Nach dieser Voraussetzung berechnet er den Abstand des in der Kugel gesehenen Bildes von dem der Sonne entgegengesetzten Puncte für einmalige Reflexion, also den Halbmesser des ersten Regenbogens = 36° 52′. Für den zweiten Regenbogen verlangt er wieder, daſs der Strahl bei der zweimaligen Reflexion drei Sehnen durchlaufe, die 30° gegen den Radius geneigt sind, und nimmt daher unrichtig an, der den zweiten Regenbogen gebende Strahl gehe in demselben Puncte wieder hervor, wo er in den Tropfen eingetreten ist (im 66. Theorem wird dieses vom violetten Strahle ausdrücklich bemerkt)[1]. Hiernach findet er dann, daſs der Winkel zwischen dem einfallenden und ausfallenden Strahle dem doppelten Einfallswinkel gleich = 83° 8′ seyn müsse, und es ist auffallend, daſs er hierin nicht den Fehler seiner Theorie bemerkt hat, daſs sie nämlich den Halbmesser des zweiten Regenbogens um 30° zu groſs angab.

Jene Grundlage der Theorie des Regenbogens, daſs der Strahl nothwendig im Innern des Tropfens 30° gegen den Radius geneigt fortgehn müsse, scheint mir gänzlich auf der Voraussetzung zu beruhn, daſs nur dann der Strahl eine *vim colorigenam* bekomme, wenn er eben die Brechungen erleidet, die im gleichseitigen Prisma vorkommen können. Marci glaubte nämlich nach Theor. 28. sich überzeugt zu haben, daſs *eine* Brechung noch keine Farbe hervorbringe, und obgleich er kein anderes als ein gleichseitiges Prisma angewandt zu haben scheint[2], so sieht er es doch so an, als

1 Er glaubte dieses durch einen Versuch bestätigt zu finden. Theorem 65.

2 Vergl. Art. *Prisma*.

ob diese Form zur Erzeugung der Farben nothwendig sey. Dieses erhellt aus der Art, wie er das Problem, im Kreise die Puncte des Eintritts und Austritts für den farbengebenden Strahl zu finden, auflöst. Hier sagt er nämlich, wenn man einen Strahl betrachte, welcher im Eintritte und Austritte 30° mit dem Radius mache, so habe dieser *eandem rationem in circulo, quam in trigono;* dagegen, wenn man einen andern auf die Kugel auffallenden Strahl, z. B. unter dem Einfallswinkel = 50°, nehme, so mache der nach erfolgter Brechung einen Winkel = 35° 14′ 32″ mit dem Radius oder = 54° 45′ 28″ mit der Tangente, und unter eben dem Winkel treffe er auch beim Hervorgehn wieder an die Kugelfläche, statt daſs ein im gleichseitigen Prisma unter eben jenem Winkel eindringender Strahl die zweite Seite unter dem Winkel = 24° 45′ 28″ gegen das Einfallsloth erreiche. Jener Strahl sey also keinem der farbengebenden Strahlen ähnlich (*nulli ex colorigenis similis*)[1].

Auch über die Entstehung der Farben hatte Marci unvollkommene Vorstellungen und auch von der Seite ist also seine Erklärung mangelhaft; doch bemerkt er richtig, daſs man die Folge oder Ordnung der Farben nach dem, was man bei dem Prisma kenne, beurtheilen müsse. Marci leistete also bei groſser Sorgfalt in der Untersuchung doch nicht einmal das, was Theodorich geleistet hatte, indem dieser, wie mir scheint, ohne durch ein theoretisches Vorurtheil geblendet zu seyn, den Gang der Strahlen in der Entstehung beider Regenbogen so annahm, wie er aus der Lage des Regenbogens selbst schloſs, daſs sie statt finden müsse.

Cartesius hat nun allerdings darin weit mehr als seine Vorgänger geleistet, daſs er durch eine geometrische Untersuchung den Grund nachwies, warum nur unter dem bestimmten Winkel die Strahlen, welche den einen, und die Strahlen, welche den andern Regenbogen hervorbringen, *wirksame* Strahlen sind. Jene Bestimmung des Maximums für den Winkel ψ liegt in des Cartesius Untersuchung. Ueber die Farben sagt er bloſs, sie entständen, wie bei dem Prisma, indem der wirksame Theil des Tropfens mit einem Prisma zu vergleichen sey. Cartesius begründete seine Erklärung durch

1 Theor. 36. 37.

einen Versuch, den er mit einer mit Wasser gefüllten Glaskugel anstellte, welche ihm in bestimmter Stellung des Auges, etwa 42° von dem der Sonne entgegengesetzten Puncte, die Farben in der Ordnung zeigte, wie man sie im Hauptregenbogen sieht. Aehnliche Versuche hatte indefs auch Marcus Marci angestellt[1], und selbst Theodorich scheint auf Versuche, die er mit einem Krystall angestellt habe, hinzudeuten.

Was die richtige Erklärung der Farben des Regenbogens betrifft, so ist kein Zweifel, dafs Newton diese zuerst und damit die erste vollkommen genügende Erklärung gegeben hat[2]. Unter den etwas spätern Untersuchungen über den Regenbogen verdienen noch die von Halley angeführt zu werden, welcher die den Regenbogen betreffenden Theoreme noch vollendeter darstellte und unter andern eine Formel angab, wie man aus dem gegebenen Halbmesser des einen oder des andern Regenbogens das Brechungsverhältnifs für den Uebergang des Strahls aus Luft in Wasser finden könne[3].

Regenmafs.

Regenmesser, Hyetometer, Ombrometer, Udometer; *Hyetometrum, Hyetoscopium, Ombrometrum;* Hyetomètre, Ombromètre, Oudomètre; *Pluviameter, Rain-Gage.*

Regenmafs nennt man jedes Werkzeug, welches dazu dient, die Menge des herabfallenden Regens zu messen; weil man aber in der Regel nicht gerade beabsichtigt, die Quantität des in dieser Gestalt aus der Atmosphäre erhaltenen Wassers, sondern überhaupt der hydrometeorischen Niederschläge kennen zu lernen, so dienen die sogenannten Regenmesser zur Aufnahme alles meteorischen Wassers, unter welcher Gestalt

---

1 Theor. 52. 58. 65.

2 Es ist auffallend, dafs 1679 in den Mém. de Paris. I. 294. die Entdeckung der ungleichen Brechbarkeit der Strahlen und der Ursache der Farben im Regenbogen dem Mariotte zugeschrieben wird.

3 Phil. Tr. 1700. 714.

dasselbe auch herabfallen mag. Die meisten hierzu vorgeschlagenen und in Anwendung gebrachten Apparate sind sehr einfach, weil dieses die Aufgabe selbst so mit sich bringt. Indem nämlich das Wasser der Hydrometeore auf die Erdoberfläche herabfällt und von dieser, mit Ausnahme des sogleich ablaufenden, eingesogen wird, um allmälig wieder zu verdunsten, so fordert die Aufgabe, diejenige Menge zu bestimmen, welche über einer gegebenen Fläche in einem bestimmten Zeitraume, meistens in einem Jahre, sich aufhäufen würde, wenn alle einzelne Quantitäten vereint blieben. Hiernach mufs jedes Regenmafs aus einem Werkzeuge bestehn, welches alle über einer genau gemessenen Fläche herabfallenden atmosphärischen Niederschläge ohne Verlust auffängt und zur Messung darbietet; das Messen geschieht dann auf zweierlei Weise, entweder indem man die Höhe bestimmt, bis zu welcher das Wasser allmälig anwächst, oder indem man die erhaltene Menge vermittelst eines üblichen Hohlmafses bestimmt. Beide Methoden sind dem Wesen nach wenig verschieden, jedoch ist die erstere die gebräuchlichste und es gebührt ihr im Allgemeinen wohl der Vorzug. Jedes Regenmafs besteht hiernach aus zwei Gefäfsen, dem einen, worin das herabfallende Wasser aufgefangen, und dem andern, womit die Quantität desselben gemessen wird; beide können jedoch auch vereinigt seyn, wenn im Auffangegefäfse zugleich eine Vorrichtung zum Messen angebracht ist. Letzteres scheint zwar leicht zu seyn, auch empfiehlt es sich durch die grofse hieraus erwachsende Einfachheit, allein da man meistens zugleich beabsichtigt, geringe Mengen einzelner Regenschauer zu messen, wobei die Bestimmung der Höhe unsicher wird, und da noch andere Bedingungen zu berücksichtigen sind, so bestehn die meisten und bessern Regenmesser aus den beiden genannten Theilen.

Die Genauigkeit der Messung erfordert, dafs die Fläche des Auffangegefäfses, deren horizontale Richtung sich von selbst als nothwendige Bedingung ergiebt, genau begrenzt sey, wobei übrigens das Material ganz gleichgültig ist. Wird aber zugleich die Dauerhaftigkeit bei dem fortgesetzten Einflusse des wechselnden Wetters berücksichtigt, so empfiehlt sich Messing oder Kupfer als am meisten geeignet. Die Form dieses Gefäfses ist willkürlich, wenn nur der Flächeninhalt der Oeff-

nung unverändert bleibt, und aus dieser Ursache ist die kreisrunde am meisten geeignet, weil so gestaltete Gefäfse äufsern Eindrücken am besten widerstehn und am leichtesten genau herzustellen sind. Weil ferner der Inhalt der auffangenden Fläche genau gemessen seyn mufs, die auf einen breiten Rand fallenden Antheile des Wassers aber leicht in das Gefäfs fliefsen könnten, so mufs ein solcher vermieden werden, obgleich es übermäfsige Sorgfalt seyn würde, den Rand ganz eigentlich scharf zu machen, vielmehr wird es keinen merklichen Nachtheil herbeiführen, wenn derselbe aus Kupferblech von 0,2 Lin. Dicke besteht und noch aufserdem durch einen umgelegten schmalen Ring gesteift ist, wonach die Breite der Randfläche 0,4 Lin. betragen würde; bei sehr grofser Sorgfalt könnte man jedoch auch die äufsere Kante schräg wegnehmen und also die Breite der Randfläche unbeschadet hinlänglicher Steifheit auf weniger als 0,2 Lin. herabbringen. Grofse und schnell fallende Regentropfen schlagen mit beträchtlicher Kraft auf den Boden des Gefäfses auf, springen in die Höhe und über den Rand des Gefäfses. Um daher dieses nicht zu hoch zu machen, giebt man ihm schräge Flächen und verengert die obere Oeffnung desselben, wodurch das Herausspringen vermieden wird. Endlich tritt nach dem Regen sogleich wieder Verdunstung ein, welche im mittlern Deutschland nach den Versuchen von Senff[1] in Dürrenberg ungefähr 2,5 mal so viel aus einem Udometer beträgt, als die gesammte hineinfallende Regenmenge. Weil es aber sehr mühsam seyn würde, das Regenmafs nach jedem Regen sofort auszuschütten, aufserdem aber das Aufschlagen der Tropfen auf das angesammelte Regenwasser ein beträchtliches Aufspritzen zur Folge zu haben pflegt, so ist es zweckmäfsig, das Gefäfs nach unten konisch zu vertiefen, damit die einzelnen Tropfen sogleich, ohne der Verdunstung einen merklichen Einflufs zu gestatten, auf der schrägen Fläche herabfliefsen und durch eine enge Röhre in ein anderes Gefäfs gelangen, worin das Wasser eine längere Zeit hindurch angesammelt werden kann, ohne dafs die Menge desselben wegen der geringen Weite der Zuleitungsröhre durch Verdunstung merklich verringert wird. Sollen diese sämmtlichen Zwecke erreicht werden, so kann das

1 Gren Journ. d. Phys. Th. III. S. 687.

Auffangegefäfs nicht füglich eine andere Form haben, als die vereinter abgekürzter Kegel, wie sie in der Figur ausgedrückt ist, die den verticalen Durchschnitt durch die Mitte darstellt, (Fig. 233.) wobei es übrigens unbestimmt bleibt, unter welchem Winkel die konischen Seiten gegen einander geneigt sind, indem dieser ein kleinerer oder ein gröfserer seyn kann; es ist jedoch vortheilhaft, den Wänden eine etwas steile Richtung, etwa 60° Neigung gegen den Horizont zu geben, damit nicht zu viele Tropfen durch Adhäsion an ihnen hängen bleiben. Auf gleiche Weise ist zwar die Weite des Auffangegefäfses willkürlich, allein man wird sie doch am besten nicht zu klein wählen, weil in einzelnen Fällen die herabfallenden Regentropfen bedeutende Zwischenräume zwischen einander haben und daher die Messung unrichtig werden könnte, wenn die auffangende Fläche zu klein ist. Deswegen möchte ich 1 Fufs oder 12 Zoll Durchmesser als am meisten geeignet betrachten, obgleich man auch etwas unter diese Gröfse herabgehn, nicht wohl dagegen über sie hinausgehn kann.

Nicht so allgemein und bestimmt läfst sich die zweckmäfsigste Form des Mefsgefäfses angeben, wie schon daraus folgt, dafs entweder die Höhe, bis zu welcher das Regenwasser anwachsen würde, wenn es über der Erdoberfläche stehn bliebe, oder der Mafsinhalt des über eine gegebene Fläche herabfallenden bestimmt werden soll, wenn gleich die erstere Art die allgemeinste und zweckmäfsigste ist. Aufserdem aber kann die Absicht seyn, den Ertrag jedes einzelnen Regenschauers kennen zu lernen, oder die gesammte Quantität des hydrometeorischen Wassers nach einem Mondwechsel, nach einem Monate, oder nach irgend einer willkürlichen Zeitperiode zu wissen, und dieses Resultat wiederum entweder durch unmittelbare Messung oder durch Selbstregistrirung aufzufinden. Zur Erreichung dieser verschiedenen Zwecke werden pafsliche Vorrichtungen erfordert, von denen ich die wesentlichsten, insbesondere die durch Erfahrung bereits erprobten, näher beschreiben werde.

Schon früher hat man den Regenmafsen verschiedene, mitunter künstliche, Einrichtungen gegeben, obgleich von jeher auch willkürlich gestaltete Gefäfse zum Auffangen des Regenwassers und zur Bestimmung der Höhe, welche es er-

reichte, angewandt wurden. MARIOTTE[1] ist vermuthlich der erste, welcher zur Ausmittelung des Ursprungs der Quellen ein Gefäfs als Regenmesser anwandte und die Höhe bestimmte, welche das angesammelte hydrometeorische Wasser während eines Jahrs erreicht. TOWNLEY[2] sammelte zu Lancaster von 1677 bis 1693 das in ein Gefäfs von gemessenem Flächeninhalte herabfallende Regenwasser und bestimmte dessen Menge nach dem Gewichte. Ebenso verfuhr DERHAM[3] zu Upminster in Essex von 1697 an, in Paris aber begann DE LA HIRE die Messungen des Regens, die man daselbst von 1699 an bis auf die neuesten Zeiten herab ohne Unterbrechung fortgesetzt hat. Das von LEUTMANN[4] beschriebene und durch eine Figur versinnlichte Regenmafs besteht aus einem viereckigen zinnenen Trichter von einem Quadratfuſs oberem Flächeninhalte, dessen konisch verlängerte Spitze eine Weite von nicht mehr als der Dicke einer Erbse im Durchmesser hat. Auf der Spitze ist eine Glasröhre befestigt, die nach einer darauf befindlichen Scale etwas über drei ℔ Wasser aufnehmen kann. Sie ist unten in einer messingnen Fassung mit einem Hahne befestigt, deren gleichfalls sehr feine Spitze in eine zweite engere, auf Lothe und deren Theile abgetheilte Glasröhre gesenkt werden kann, um dasjenige Wasser, was nach Pfunden nicht genau gemessen werden kann, nach Lothen zu bestimmen. Der Erfinder bringt neben diesem allerdings sehr zweckmäfsigen Instrumente noch eine Art von Ofen in Vorschlag, um den Schnee aufzuthauen und dann gleichfalls zu messen. Der beschriebene Leutmann'sche Apparat wird auch in einem spätern, über meteorologische Werkzeuge handelnden, Buche[5] beschrieben, der Verfasser desselben empfiehlt aber mehr ein quadratisches Gefäfs von 2 oder 4 Fufs Flächeninhalt der obern Oeffnung und 1 Fufs Tiefe, in wel-

1 Traité du mouvement des eaux cet. Oeuv. à Leide. 1717. 4. T. 1. p. 326.

2 Phil. Trans. N. 208. p. 51.

3 Phil. Trans. N. 237. p. 47.

4 Instrumenta meteoroguosiae inservientia. Wittembergae 1725. 8. Cap. 6.

5 Kurze Beschreibung der Barometer und Thermometer und andrer zur Meteorologie gehörigen Instrumente u. s. w. Nürnberg. 1768. 8. S. 217.

chem das Wasser unmittelbar mit einem Mafsstabe gemessen, oder vorher in ein kleineres, mit einer reducirten Scale versehenes, herabgelassen werden soll, um auf diese Weise auch die geringern Regenhöhen genauer zu bestimmen. Von gleich grofser Oberfläche, nämlich 4 Quadratfufs, ist auch das in Frankreich gebräuchliche Regenmafs, welches SIGEAUD DE LA FOND[1] beschreibt. Dasselbe soll von Zinn gemacht und 6 Zoll hoch seyn, an der einen etwas weniges geneigten Seite aber eine Röhre haben, durch welche das zusammenfliefsende Regenwasser in einen wohlbedeckten Krug abläuft; das Messen der Quantität soll dann mit einem gläsernen kubischen Gefäfse von 3 Zoll Seite geschehn, in welchem also das im Auffangegefäfse bis zu 0,5 Lin. Höhe anwachsende Wasser bis zu 32 Lin. ansteigt, auf welcher Höhe ein Zeichen angebracht wird, um beim Messen zu bestimmen, wie viele halbe Linien Höhe das Wasser im Auffangegefäfse erreicht haben würde. Hiernach kann die Regenhöhe allerdings sehr genau bestimmt werden, allein das Verfahren ist etwas mühsam.

Bei diesen Regenmafsen darf man billig fragen, warum die Fläche des Auffangegefäfses so grofs seyn soll, da es so nahe liegt, einen einzigen Quadratfufs als normale Gröfse anzunehmen; auffallend ist dagegen die Kleinheit, welche das Regenmafs des ROGER PICKERING[2] haben soll, nämlich blofs 1 Quadratzoll Fläche. Auch hierbei soll das Auffangegefäfs von Zinn und trichterförmig seyn, zum Messen aber dient eine blofse Glasröhre von 0,5 Zoll Durchmesser auf einem Brete mit einer Scale, vermittelst welcher die Regenhöhen viermal vergröfsert in Zollen und deren Theilen gemessen werden. Die unleugbar zweckwidrige Kleinheit des Gefäfses abgerechnet ist diese Vergröfserung der Höhen empfehlenswerth. Sehr bekannt geworden sind die Regenmafse, welche die Mitglieder der Mannheimer meteorologischen Gesellschaft anzuwenden pflegten. Sie bestehn aus einem zum Auffangen dienenden Kasten von Blech, mit einer seitwärts oder unten angebrachten Röhre zum Fortleiten des gesammelten Wassers in das Mefsgefäfs.

---

1 Dict. de Phys. Art. *Ombromètre.*
2 Phil. Trans. 1744. N. 473.

Die bisher angegebenen Constructionen leisten ziemlich vollständig alles dasjenige, was man von einem Regenmaſse verlangen kann, und die meisten derselben geben die Höhen an, welche das gesammelte Wasser erreicht. Wolf[1] verwirft die Bestimmung nach dem Gewichte gänzlich, obgleich dieselbe absolut genauer ist, da das Volumen sich nach der Temperatur verändert; allein diese Differenz ist nicht sehr bedeutend, da im Ganzen das Regenwasser ziemlich genau die mittlere Temperatur der Beobachtungsorte hat, und dagegen ist die Bestimmung nach der Höhe eine directe, aus welcher der Kubikinhalt und also auch das Gewicht der über eine gegebene Fläche herabfallenden Regenmenge leicht entnommen werden kann. Auſserdem ist Genauigkeit und Schärfe jeder Messung zwar ihre wesentlichste Eigenschaft, allein jederzeit nur im Verhältnisse zu dem beabsichtigten Zwecke. Bei der Bestimmung der Regenmengen kommt es aber rücksichtlich der ohnehin statt findenden bedeutenden Unterschiede nicht so sehr darauf an, ob man um Theile einer Linie fehlt oder nicht, wichtiger scheint mir dagegen die Bequemlichkeit der Messung. Die wenigsten Beobachter der Regenmengen haben die erforderliche Zeit, sogleich nach jedem einzelnen Schauer die Messung vorzunehmen, und steht der Regenmesser im Freien und gehörig entfernt von Häusern und Bäumen, wie dieses die Natur der Aufgabe erfordert, so ist bei allgemein verbreiteter Nässe der Zugang meistens beschwerlich. Hiernach scheinen mir diejenigen Regenmaſse den Vorzug zu verdienen, deren ich mich hier bediene. Das eine besteht aus einem Auffangegefäſse von Kupfer mit einem nach der Mitte etwas herabgehenden Boden, an welchem eine verticale Röhre von ungefähr 0,5 Z. Durchmesser befestigt ist, die am untern Ende den Deckel des Sammlungs- und Meſsgefäſses trägt. Letzteres wird von unten herauf in seinen, an der Röhre festsitzenden Deckel etwa 2 Lin. hoch hineingeschoben und hat einen an 3 Stellen eingeschnittenen Ring, dessen Lücken ebenso vielen, am Deckel befindlichen Haken den Durchgang verstatten. Dreht man demnach das von unten in den Deckel geschobene Sammlungsgefäſs etwas um seine verticale Axe, so fassen die Haken über den Ring und halten dasselbe fest. Das Auf-

1 Nützliche Versuche. Th. II. S. 237.

fangegefäfs steht auf einem mit drei Füfsen versehenen Ringe von Eisen, das Sammlungsgefäfs aber hat inwendig eine doppelte Scale, die einander diametral gegenüberstehend, zur Verhütung einer Neigung gegen den Horizont, das Ablesen der Höhen nach Zollen und deren Theilen gestatten. Der Durchmesser des Mafsgefäfses ist halb so grofs als der des Sammlungsgefäfses, mithin ist die Höhe des Wassers in demselben die vierfache und der Fehler wird daher in gleichem Verhältnisse vermindert. Besser würde es seyn, den Durchmesser des kleinern = 1 und des gröfsern = 2,236 zu wählen, um die fünffache Höhe und auf eine bequeme Weise Zehntheile der Zolle zu erhalten. Die Höhe des Sammlungsgefäfses beträgt 6 Zoll, so dafs also 1,5 Zoll Regenwasser gemessen werden können; es scheint mir aber eine etwas gröfsere Höhe noch vorzüglicher, um die monatlichen Regenmengen auch bei gröfserer Nässe messen zu können. Das zweite Regenmafs ist auf gleiche Weise eingerichtet, aber das Auffangegefäfs ist auf einem Balken befestigt, welcher 10 Fufs weit aus einem Dachfenster hervorragt, und aus der Mitte seines etwas concaven Bodens geht eine sogleich in einen rechten Winkel umgebogene Röhre bis zum Sammlungs- und Mefsgefäfse, welches mit einem Deckel genau verschlossen sich im Innern des Hauses befindet. Ein solches Hyetometer erfordert, dafs man beim jedesmaligen Entleeren des Mefsgefäfses durch die lange Röhre bläst, um überzeugt zu seyn, dafs nicht etwa hineingefallene Körper dieselbe verstopft haben. Auf gleiche Weise ist dasjenige eingerichtet, dessen sich Tardy de Brossy[1] bedient, jedoch ist letzteres vierkantig und von Weifsblech, welchem Körper aber gewifs der Vorzug vor dem Kupfer nicht gebührt; auch ist die Röhre daran mit einem Hahne verschlossen, den man öffnen mufs, um das Wasser ablaufen zu lassen und zu messen, was blofs in dem Falle zweckmäfsig ist, wenn man das Ergebnifs der einzelnen Regenschauer augenblicklich zu messen beabsichtigt.

Es lohnt sich kaum der Mühe, die Modificationen der verschiedenen in Anwendung gebrachten Regenmesser einzeln namhaft zu machen; indefs will ich die bekanntern hier kurz erwähnen. Die in Edinburg gebräuchlichen und zu 4 Lstl.

---

1 Bibl. univ. T. X. p. 92.

4 sh. verkäuflichen bestehn aus einem runden, trichterförmigen, metallenen Auffangegefäſse, welches in eine nur $\frac{1}{8}$ Z. weite Spitze ausläuft und mit dieser auf einer 30,5 Zoll langen messingnen Röhre befestigt ist, aus welcher unten eine mit einem Hahne verschlossene Spitze zum Ablassen des Wassers herabgeht. Aus derselben geht auf der andern Seite ein Canal heraus, welcher das enthaltene Wasser einer zweiten engen verticalen Glasröhre zuführt, so daſs die Höhe in beiden gleich ist, und eine an der letztern angebrachte Scale verstattet dann, die Höhen auf $\frac{1}{10}$ Zoll zu messen, wobei das Verhältniſs der Durchmesser des Auffangegefäſses und beider Röhren so eingerichtet ist, daſs die Höhen des Regenwassers bis auf 0,01 Zoll gemessen werden können. Diese Genauigkeit ist für den beabsichtigten Zweck sicher genügend, allein Matthew Adam zu Inverneſs hat sie noch weiter, nämlich bis zu 0,0001 Zoll getrieben. Zu diesem Ende läuft das Regenwasser aus dem Auffangegefäſse, in dessen unterem Theile sich eine fein durchlöcherte Platte zum Abhalten hineinfallender Körper befindet, in ein mit einem Deckel versehenes Glas, wird darin angesammelt und dann vermittelst einer engen graduirten, neben dem Apparate aufbewahrten Röhre gemessen, deren geringer Durchmesser die angegebene Genauigkeit gestattet. Was übrigens der Erfinder dieser letztern Vorrichtung noch über die Mittel beibringt, die er zum Messen des kubischen Inhalts der einzelnen Theile des Apparats angewandt hat, gehört als ohnehin bekannt nicht zu der eigentlichen Aufgabe[1]. Dr. Schrön hat ein Hyetometer angegeben und auf der Sternwarte zu Jena zum Behufe meteorologischer Beobachtungen aufgestellt, dessen konisches Auffangegefäſs oben einen Viertelfuſs Fläche hat und unten vermittelst eines Rahmens auf dem Rande des Sammlungscylinders ruht, der in einen Schrank herabhängt, dessen Deckel zugleich dem Auffangegefäſse zur festern Unterstützung dient. Durch die untere konische Oeffnung des Trichters ist ein Stab herabgesenkt, so daſs nur 0,25 Lin. Spielraum bleibt, wodurch das Wasser abflieſsen kann, ohne durch Verdunstung

1 Edinburg Phil. Journ. N. Ser. N. XXIV. p. 281. The Dublin Journal of Medical and Chemical Science N. II. p. 227. Edinb. Journ. of Science N. Ser. N. V. p. 53.

merklich zu verlieren. Ein am untern Ende des Stabs befindlicher Konus verschliefst das Sammlungsgefäfs, aus welchem nach Lüftung desselben das Wasser in die Mefsröhre fliefst, vermittelst welcher die Regenhöhen bis auf 0,01 Linie mefsbar sind. Zum Auffangen des Schnees dient ein höheres Gefäfs, welches vermittelst eines Rahmens auf das Auffangegefäfs gesteckt wird[1]; inzwischen bedarf es dessen nicht, sobald man dem letztern die von mir oben angegebene Höhe und Gestalt giebt, auch ist ein Stampfer zum Feststampfen desselben überflüssig, wenn man in denjenigen Gegenden, wo man reichliche Schneefälle zu erwarten hat, das Auffangegefäfs etwas höher macht, insbesondere da man den ganzen Apparat nach dem Aufhören des Schneiens leicht vom Ringe des Dreifufses wegnehmen und in ein warmes Zimmer zum Aufthauen bringen kann, was übrigens auch mit dem von Schrön vorgeschlagenen ohne Schwierigkeit geschieht.

Eine nähere Untersuchung verdienen noch die *selbstregistrirenden Regenmafse.* Schon früher hat Herrmann[2] ein solches bekannt gemacht, welches aber schwerlich jemals wirklich ausgeführt worden ist. Dasselbe besteht aus einer runden Scheibe mit 12 gemeinen Regenmessern, nämlich blofsen Gefäfsen mit gleichgrofsen Auffangetrichtern. Die Scheibe ist um ihre verticale Axe beweglich und mit einer Schlaguhr so verbunden, dafs jederzeit nach Verlauf einer Stunde ein andrer Trichter unter eine Oeffnung in einem unbeweglichen Dache geschoben wird, so dafs man an den nach den Stunden numerirten Gefäfsen sehn kann, ob und wieviel es in jeder Stunde geregnet hat. Für eine kurze Regenzeit wäre eine solche Vorrichtung allerdings interessant, als gewöhnlicher Regenmesser aber, wenn es oft Monate lang nicht regnet, ist sie zu kostbar und erfordert zu viele Aufmerksamkeit auf den richtigen Gang der dazu verwandten Uhr.

Ein anderes selbst registrirendes Regenmafs ist durch Be-

---

1 Das Laboratorium, eine Sammlung von Abbildungen und Beschreibungen der besten und neuesten Apparate zum Behuf der praktischen und physikalischen Chemie. Weimar 1829. Hft. 13.

2 Mechanischer verbesserter Wind-, Regen- und Trockenheitsbeobachter. Freib. u. Annab. 1789. 8.

VAN[1] in Vorschlag gebracht worden, welches im Wesentlichen gleichfalls aus einem 12 Zoll im Durchmesser haltenden Auffangetrichter besteht, aus welchem das Regenwasser in den Sammlungs-Cylinder von 6 Zoll Durchmesser und 3 Fuſs Höhe abflieſst. Im letztern befindet sich ein Schwimmer mit einem aufrecht stehenden hölzernen Stabe, an dessen oberem Ende eine Fassung mit einem Bleistifte angebracht ist, dessen Spitze vermittelst einer Feder gegen einen mit Papier umwickelten messingnen Cylinder gedrückt wird, welchen ein Uhrwerk während einer bestimmten Zeit um seine verticale Axe dreht, so daſs eine durch die Bleistiftspitze auf dem Papiere gezeichnete Linie die zunehmende Höhe des Regenwassers und die bis zur Erreichung derselben verflossene Zeit angiebt. Inzwischen möchte ich auch bei diesem Apparate die wirklich statt gefundene Anwendung bezweifeln, denn diese erscheint als höchst unbequem, sobald man berücksichtigt, daſs das Papier in nicht langen Zeitintervallen wieder erneuert werden muſs.

Dieser Vorwurf ist demselben auch bereits durch JOHN TAYLOR[2] gemacht worden; man ersieht aber aus den Einwendungen, welche der Erfinder hiergegen vorbringt, nur soviel, daſs der Apparat wirklich einige Jahre gebraucht, vermuthlich aber nachher nicht weiter benutzt wurde, obgleich es nur für eine geringe Mühe ausgegeben wird, jede Woche die Uhr aufzuziehn und den Cylinder mit einem neuen Papiere zu versehn.

Ungleich bequemer und in jeder Hinsicht sinnreich construirt ist dasjenige Regenmaſs, welches JOHN TAYLOR selbst angegeben, der Mechaniker HENRY RUSSELL aber in groſser Vollendung ausgeführt hat[3]. Der Bau desselben wird durch die Ansicht der Zeichnung hinlänglich klar, so daſs die Beschreibung bloſs dazu dient, den Mechanismus der einzelnen Theile näher anzugeben. Aus dem (in dieser Figur nicht gezeichneten) Sammlungstrichter geht der Schlauch s herab und leitet das Regenwasser in das Maſsgefäſs A, welches aus drei Abtheilungen besteht, von denen jederzeit eine dasselbe auf-

Fig. 234.

1 Philos. Mag. and Ann. of Phil. II. 74. Edinb. Journ. of Science. XIV. p. 360.

2 The Philos. Magaz. or Annals cet. T. III. p. 29.

3 Ebend. T. II. p. 406.

nimmt, dadurch ein Uebergewicht erhält und herabsinkt, bis sie, auf der andern Seite wieder gehoben, ihren Inhalt zum Ablaufen durch den Boden ausschüttet. Damit dieses nicht zu schnell geschieht und das Gefäfs hierdurch keinen Umschwung erhält, ist der unten gebogene Stab B angebracht, welcher gegen die Zapfen c, c, c drückt, zur Beförderung der Reibung eine rauhe Oberfläche hat und aufserdem durch das bewegliche Gewicht C angedrückt wird. Um die Umdrehung noch genauer zu reguliren, dient die schwache Feder d, welche gleichfalls durch die Zapfen c, c, c gehoben werden mufs und dadurch bewirkt, dafs jederzeit die folgende Abtheilung unter das Rohr des Auffangetrichters zu stehn kommt. Da die Umdrehung des Mafsgefäfses allezeit durch eine bestimmte Quantität des aufgenommenen Regenwassers bewirkt wird, die durch eine Verschiebung des Gegengewichts C genau regulirt werden kann, so bedarf es blofs einer Vorrichtung zum Zählen der Umdrehungen, um hieraus das Mafs des herabgefallenen Regens und somit die Höhe desselben aus diesem und der verhältnifsmäfsigen Oeffnung des Auffangetrichters zu finden. Zu diesem Ende beträgt die Fläche dieser Oeffnung 72 Quadratzoll, das Mafsgefäfs aber ist so eingerichtet, dafs es durch 7,2 Kubikzoll Wasser einmal umgedreht wird, wonach also 2,3 Kubikzoll eine Zelle desselben zum Herabsinken bringen. An der Axe des Mafsgefäfses ist ein Getriebe e mit 8 Triebstecken befestigt, welche in die Zähne des Rads f eingreifen, deren Zahl 80 ist, so dafs das Rad einmal umläuft, wenn das Gefäfs 10 Umdrehungen vollendet hat. Indem aber eine Umdrehung des Gefäfses durch 7,2 Kubikzoll bewirkt wird, welche den zehnten Theil des Flächeninhalts des Auffangetrichters bei einem Zoll Höhe betragen, so mifst eine solche einzelne Umdrehung 0,1 Zoll Regenhöhe und der Inhalt einer einzelnen Kammer $\frac{1}{30}$ Zoll, welche Gröfse man als die Grenze der Messung mit diesem Instrumente ansehn kann, wobei jedoch vorausgesetzt wird, dafs in der Ausführung alle drei Kammern gleich grofs sind. An der Axe des ersten Rads f befindet sich ein Zeiger, welcher auf einer getheilten Scheibe die einzelnen ganzen Umläufe des Mafsgefäfses von 1 bis 10 anzeigt, jedoch können die Zwischenräume füglich in 3 Theile getheilt werden, um auch die einzelnen Dreifsigstel der Regenhöhen zu messen; aufserdem aber befindet sich an

Fig. 235.

dieser Axe des Rads f ein Getriebe von 8 Triebstecken g, welche ein zweites Rad von 80 Zähnen h umtreiben, und an der Axe des letztern abermals ein Getriebe von 20 Triebstecken i, welche das letzte Rad k von 80 Zähnen umdrehn, an dessen Axe ein Zeiger befestigt ist, um auf einer getheilten Scheibe von 1 bis 40 zu zählen. Nach der Anordnung der Räder gehört jede Einheit dieser Zahlen einer ganzen Umdrehung des ersten Rads f zu und bezeichnet also einen ganzen Zoll Regenhöhe, so dafs vermittelst des Instruments 40 Zoll Regenhöhe, also mehr als im Mittel in England und an den meisten Orten des europäischen Continents in einem ganzen Jahre herabzufallen pflegt, gemessen werden kann.

Die Regulirung oder Graduirung des Instruments geschieht auf eine einfache Weise. Beträgt nämlich der Flächeninhalt des Auffangetrichters die angegebene Gröfse von 72 Quadratzoll, so verfertigt man ein genaues Mafs, dessen Inhalt einmal oder besser n mal 7,2 Kubikzoll beträgt, füllt dasselbe mit Regenwasser von mittlerer Temperatur und leert es einmal oder n mal langsam in den Trichter aus, nachdem vorläufig die Zellen des Mafsgefäfses so eingerichtet worden sind, dafs jede derselben etwas mehr als 2,4 Kubikzoll Wasser aufnehmen kann, und regulirt dann den Frictionsstab B durch Vergröfserung oder Verminderung und gehörige Stellung des Gegengewichts C genau so, dafs 7,2 Kubikzoll Wasser eine einzige Umdrehung des Mafsgefäfses bewirken. Man sieht übrigens leicht, dafs man allgemein nur nöthig habe, den zehnten Theil des in irgend einem Mafse gemessenen Flächeninhalts des Auffangetrichters in kubischem Mafse darzustellen und hiernach das Instrument zu reguliren, welches durch die willkürlich vermittelst des Gegengewichts zu erzeugende Reibung des Stabs B an den Zapfen des Mafsgefäfses leicht bewerkstelligt werden kann. Dabei kann ich jedoch dem absichtlichen Rauhmachen der Fläche dieses Stabs keinen Beifall geben, denn die rauhe Fläche mufs sich nothwendig bald glatt reiben und dadurch den Gang des Instruments unrichtig machen; ungleich zweckmäfsiger würde es dagegen seyn, den reibenden Flächen der Zapfen und des Stabs möglichst genau gerade diejenige Glätte zu geben, die sie auch beim fortdauernden Gebrauche beibehalten würden.

Das beste selbstregistrirende Hyetometer ist durch v. Hor-

ker[1] in Deutschland bekannt geworden, jedoch glaube ich kaum, dafs aufser diesem genauen Beobachter der meteorologischen Erscheinungen noch sonst jemand Gebrauch davon macht[2], auch scheint es selbst in England nicht gebräuchlich zu seyn, aufser auf der Sternwarte zu Greenwich, wo ich dasselbe zuerst kennen lernte. Die Beschreibung desselben gebe ich so, wie Kämtz[3] sie durch v. Horner selbst erhalten hat. Das Auffangegefäfs besteht aus einem gewöhnlichen Trichter von beliebig weiter, aber genau bestimmter Oeffnung, dem man leicht die oben von mir (Fig. 233.) bezeichnete Gestalt geben könnte. Aus der Röhre T desselben fliefst das Wasser in das blechene Schiffchen AB, welches durch eine von C bis auf den Boden herabgehende Scheidewand in zwei gleiche Hälften getheilt und zwischen zwei Spitzen D unterhalb seines Schwerpuncts so balancirt ist, dafs es jederzeit nach einer Seite hin herabfällt und dafs daher stets eine der beiden Hälften unter die Oeffnung des Trichters kommt. Ist aber die eine Abtheilung A so weit mit Wasser gefüllt, dafs sie das Uebergewicht und die Reibung des Räderwerks überwindet, so schlägt das Schiffchen um und bringt die andere Hälfte B unter die Oeffnung des Trichters, bis diese dann gleichfalls umschlägt. Kennt man die hierzu erforderliche Menge Wassers, so bedarf es blofs einer Vorrichtung, um die Zahl dieser Oscillationen zu zählen und hieraus die Gesammtmenge des gefallenen Regens zu bestimmen. Hierzu dient das mit 50 schrägen Zähnen versehene Rad EE, welches bei jeder zweiten Ausleerung, oder jedem Ueberschlagen von A, durch den am Schiffchen befindlichen Haken F um einen Zahn umgedreht wird. Beim Ueberschlagen von B gleitet zwar dieser Haken leicht über die schrägen Zähne hin, allein um zu verhüten, dafs dennoch das Rad nicht wieder zurückgeschoben werde, dient der am Gestelle befestigte zweite Haken G, welcher dasselbe festhält. Die beiden krummgebogenen Drähte I und I′, deren einer der Deutlichkeit wegen in der Zeichnung abgebrochen ist, dienen dazu, das überschlagende Schiffchen

Fig. 236.

---

1 Schweigger's Journ. LIX. 36.

2 So eben sehe ich aus der Wiener Zeitschrift Bd. II. S. 373., dafs sich v. Jacquin desselben bedient.

3 Meteorologie. Th. II. S. 413.

zu unterstützen, damit es jederzeit bis zur erforderlichen Tiefe herabsinke.

Vermittelst eines an der Axe dieses Rads angebrachten Zeigers können auf einer aufsen am Träger des Schiffchens angebrachten getheilten Scheibe 50 doppelte oder 100 einfache Ausleerungen gezählt werden, die auch bei starkem Regen genügen. Giebt man nämlich nach v. Hörner's Berechnung dem runden Auffangetrichter 10 Zoll Durchmesser, so beträgt der Flächenraum 78,5 Quadratzoll, und wenn jede Umschlagung durch einen Kubikzoll geschieht, so würden diese für jenen Flächenraum zu ungefähr 1,25 Zoll anwachsen, d. h. es lassen sich vermittelst der Zeigerscheibe 1,25 Zoll Regenhöhe messen, die in unsern Gegenden selten innerhalb 12 Stunden herabfallen. Man kann jedoch durch Anwendung der oben beschriebenen sogenannten *Hunting Wheels*[1], ohne die Reibung zu vermehren, diese Messung um das Funfzigfache vermehren. Zu diesem Ende wird auf die nämliche Axe ein zweites, dem ersten flach anliegendes, bewegliches, mit 51 oder 49 Zähnen versehenes Rad gesteckt, welches gleichzeitig mit jenem durch den Haken F umgedreht wird und also bei jeder einmaligen ganzen Umdrehung des erstern um einen Zahn entweder zurückbleibt oder voreilt. Ist dann ein Ring in der Ebene dieses Rads mit so vielen Theilstrichen versehn, als dasselbe Zähne hat, befindet sich ferner auf der Axe der Räder ein zwar drehbarer, aber doch durch seine Reibung festsitzender Zeiger Z, und stellt man diesen gleichzeitig mit dem Zeiger des ersten Rads auf Null beider Theilungen (welches um so leichter geschehn kann, da nach Auslösung der Haken beide Räder eine willkürliche Umdrehung gestatten), so rückt der zweite Zeiger bei jeder ganzen Umdrehung des ersten Rads um einen Theilstrich vorwärts, oder bleibt um einen zurück, wonach also die Theilung nach der einen oder nach der entgegengesetzten Seite umlaufen mufs, und somit zeigt derselbe also die Hunderte der Ausleerungen, deren einzelne durch den ersten Zeiger angegeben werden. Hierdurch wird es möglich, die Regenhöhen bis zu 64 Zoll zu messen, also weiter als es irgendwo auf der Erde und selbst bei den

---

1 S. Art. *Rad und Getriebe*. Diesen Mechanismus erinnere ich mich nicht an dem Greenwicher Exemplare gesehn zu haben.

stärksten tropischen Regen nöthig ist; was aber die Genauigkeit der Messung betrifft, so theilt darüber v. Horner folgende Berechnung mit. Wenn angenommen wird, dafs ein Kubikzoll Regenwasser das Ueberschlagen des Schiffchens bewirkt, so machen die 100 Kubikzoll, welche durch den Zeiger des ersten Rads angegeben werden, einen Cylinder von 78,5 Zoll Basis und 1,273 Zoll Höhe, mithin beträgt jede Ausleerung 0,01273 Zoll oder 0,15 Linien. Um dann den Werth eines Grads der Eintheilung oder die eigentliche Sprache des Instruments auszumitteln, darf man nur ein Flüssigkeitsmafs von genau gemessener Capacität mit Wasser füllen und mehrere Male nach einander durch den Trichter in das Schiffchen ausgiefsen, um die entsprechenden Angaben des Zeigers damit zu vergleichen, eine Operation, die man öfter wiederholen mufs, um zu sehn, ob etwa vermehrte Reibung eine Aenderung der festgesetzten Normalgröfse verursacht habe.

Ein geübter Künstler könnte jedoch ohne allzugrofse Schwierigkeiten dieses sinnreich ausgedachte Instrument von folgender, noch gröfsere Genauigkeit und Bequemlichkeit darbietender Einrichtung verfertigen. Beim Messen der Regenhöhen erreicht man sicher eine genügende Genauigkeit, wenn man dieselbe bis zu 0,1 Lin. treibt, und so wäre es dann auch am besten, diese als die Normalgröfse anzunehmen, die durch den Zeiger angegeben wird. Hiernach müfste zuerst das Rad 60 Zähne haben, wenn man nach Zehntel-Linien und ganzen Linien zählend zu Zollen übergehn wollte und jeder Zahn 0,1 Linie zugehören soll. Um die geringe Ungewifsheit zu beseitigen, die daraus entsteht, dafs nach der ursprünglichen Einrichtung erst beim zweiten Umschlagen des Schiffchens das Rad um einen Zahn weiter rückt, darf man nur auf der Axe des Schiffchens an beiden Seiten desselben zwei Stifte anbringen, den einen aufwärts, den andern herabwärts gerichtet und jeden mit einem Haken versehn, so wird bei jedem Umschlagen des Schiffchens ein Zahn weiter rücken und der Zeiger des Rads eine Einheit weiter zeigen, bis zu 60 Zehntel Linien oder einem halben Zoll, wonach dann der Zeiger des zweiten Rads mit 61 Zähnen von halben zu halben Zollen fortrückend bis 30 Zoll zählen würde. Soll dann das Umschlagen des Schiffchens gerade durch einen Kubikzoll Wasser bewirkt werden und dieser zugleich 0,1 Lin·

der Höhe desjenigen Cylinders ausmachen, welcher im Auffangetrichter gebildet werden würde, so müfste die Weite seiner Oeffnung 12,36077... Zoll Durchmesser haben, wie sie durch einen geübten Künstler allerdings bis auf 0,01 Lin. vollkommen dargestellt werden kann. Inzwischen läfst sich auch das umgekehrte Verfahren in Anwendung bringen, indem die Oeffnung des Auffangetrichters der angegebenen Gröfse möglichst gleich hergestellt, dann ihr Durchmesser scharf gemessen, und hieraus der kubische Inhalt des Regenwassers von der mittlern Jahrestemperatur durch Rechnung gefunden wird, welcher ein Umschlagen des Schiffchens bewirkt. Um letzteres hiernach einzurichten, bedarf es blofs eines oder zweier Balanciere, jeden mit einer Kugel versehn, welche höher oder niedriger geschraubt und durch eine Prefsschraube festgestellt werden kann, so dafs das Umschlagen jederzeit genau durch die erforderliche Menge des Wassers erfolgt.

Verschiedene anderweitige Regeln dürfen bei der Construction dieses Instruments nicht unbeachtet bleiben, wenn man den erforderlichen Grad von Genauigkeit sicher erreichen will. Dahin gehört die Bedingung, dafs die Oeffnung des Trichters klein und die Bewegung des Schiffchens beim Umschlagen nicht zu grofs ist, damit nach erzeugtem Uebergewichte nicht noch mehr Wasser hinzuläuft, dessen Menge sonst der Stärke des Regenschauers proportional seyn und hiernach die Messung in gleichem Verhältnisse unrichtig machen würde. Zum Theil wird diesem dadurch abgeholfen, dafs nach begonnener Ueberwucht das Wasser nach dem Ende des Schiffchens hinfliefst, dadurch ein gröfseres statisches Moment erhält und das Umschlagen beschleunigt. Ferner bemerkt v. Horner sehr richtig, dafs der Haken etwas über den eigentlichen Zahn, etwa bis in die Mitte des folgenden, übergreifen mufs, damit nicht sogleich beim Anfange des Ueberschlagens die Bewegung durch das Zurückziehn des Rads gehindert wird, zu welchem Ende auch die Oeffnung im Haken, in welche der Hebelarm an der Axe des Schiffchens eingreift, welcher den Haken zurückzieht, länglich gemacht werden kann, damit jener anfangs einen todten Gang hat und erst zuletzt den Haken zurückzieht oder vorwärts schiebt. Das Schiffchen mufs höchst leicht balancirt seyn, und daher läuft seine Axe in Spitzen aus oder könnte auch sehr fein

gemacht und auf Frictionsrollen gelegt werden. Das Schiffchen von Blech ist nach v. Horner etwa 5 bis 6 Zoll lang, 2 Zoll breit und in der Mitte ungefähr 1½ Zoll hoch, seine Form aber cylindrisch concav, weil auf einem flachen Boden der Erfahrung nach leicht eine Wasserschicht von der Dicke bis zu einer Linie zurückbleibt, die als Gegengewicht das Umschlagen erschwert. Am besten wird die ganze Maschine, die auf einer geeigneten festen Unterlage befestigt und mit einem durchlöcherten Boden zum Ablaufen des Wassers versehn seyn muſs, in einen geeigneten Kasten eingeschlossen, den man mit einem Glase zum Durchsehn oder wohl besser mit einer Thür verschlieſst und überhaupt so einrichtet, daſs er den Einflüssen der Witterung widersteht; auch kann man demselben eine äuſsere elegante Form geben, so daſs das Instrument einem Garten selbst zur Zierde dient.

Beide zuletzt beschriebene Regenmesser sind so zweckmäſsig eingerichtet, daſs man kaum zur Entscheidung gelangt, welchem von ihnen der Vorzug gebührt. Nach der Beschreibung scheint die Regulirung und Graduirung des Taylor'schen leichter zu seyn, allein man sieht bald, daſs man diese, wie ich bereits oben angedeutet habe, auch auf das Horner'sche übertragen kann, jedoch ist diese Methode dort absichtlich nur im Allgemeinen angegeben. Beide haben den groſsen Vorzug, daſs man zu jeder Zeit nachsehn und die Regenhöhen ablesen kann, wobei sich von selbst versteht, daſs die Zeiger verschiebbar eingerichtet (bloſs aufgesteckt) seyn müssen, damit man sie jederzeit auf 0 stellen kann, um von jeder beliebigen Zeit an die Messung zu beginnen[1]; beide können leicht regulirt werden, wenn man die von mir vorgeschlagenen Balanciere beim Horner'schen anbringt; beide lassen sich auf gleiche Weise elegant darstellen und mögen sich selbst hinsichtlich des Preises wohl gleich seyn. Beide haben aber den Nachtheil, daſs ihr Mechanismus sehr fein ist, und wenn man sie daher gegen den Einfluſs der Witterung auch möglichst geschützt hat, so ist doch unvermeidlich, daſs die feuchte Luft nicht zu den

1 Dieses scheint mir, als das leichtere Mittel, nicht überflüssig, obgleich die Zeiger auch, wie oben bemerkt ist, durch Ausheben der Haken und Umdrehn der Räder willkürlich gestellt werden können.

feinen Zapfen dringen und auf diese nachtheilig wirken sollte. Taylor will daher die Anwendung des Stahls wegen des Rostens gänzlich ausschliefsen, vielmehr sollen die feinern Theile von Silber und Platin, das Gehäuse aber von Zinn gemacht seyn. Inzwischen glaube ich, dafs man dem nachtheiligen Einflusse der Feuchtigkeit begegnen könne, wenn man die dickern Axen, in denen die feinen Stahlspitzen befestigt sind, nahe an die Flächen der Träger bringt und in diesen die Löcher blofs einbohrt, ohne sie durchgehn zu lassen. Zugleich mufs auf jeden Fall dafür gesorgt seyn, dafs das aus dem Schiffchen oder dem Mafsgefäfse abfliefsende Wasser nicht spritzen kann, und aufserdem ist es gewifs vortheilhaft, unter dem Instrumente im Boden eine Vertiefung zur Aufnahme des Wassers anzubringen, die äufseren Ränder oder Wandungen aber unten bis auf den Boden zu vertiefen, damit der Wind nicht eindringt und den Staub zwischen die Maschinentheile treibt.

Wenn man indefs beide Apparate sorgfältig prüfend mit einander vergleicht, so wird man bald einige überwiegende Vorzüge beim Horner'schen Apparate entdecken. Diese sind zuerst ein weiterer Umfang und gröfsere Feinheit, indem es von 0,1 Linie bis 30 Zoll zählt, statt dafs das Taylor'sche erst mit 0,1 Zoll und nicht völlig genau mit $\frac{1}{10}$tel Zoll anfängt. Es scheint zwar, als dürfe man auch bei diesem nur die Quantität des die Bewegung erzeugenden Wassers vermindern, um einen gleichen Grad der Feinheit zu erlangen; allein da bei jenem die Reibung möglichst vermieden wird, bei diesem dagegen eine nothwendige Bedingung ist, so kann es niemals möglich werden, beide auch bei der sorgfältigsten Ausführung auf einen gleichen Grad der Feinheit zu bringen. Zudem mufs bei beiden die Menge des Wassers, welche die Bewegung erzeugt, in einem gewissen Verhältnisse zu den bewegten Maschinentheilen stehn, und in dieser Beziehung ist es unverkennbar, dafs eine weit geringere Wassermenge das Schiffchen zum Umschlagen bringen und dafs letzteres weit leichter durch den hierdurch erhaltenen Schwung das Rad zurückziehn kann, als diejenige Wassermenge seyn darf, welche das Mafsgefäfs zusammt dem Räderwerke umtreibt und noch obendrein die Reibung überwindet; denn wollte man alle diese Theile von geringem Gewichte und leicht beweglich machen,

was bei dem auf jeden Fall aus Metallblech verfertigten Meſsgefäſse ohnehin seine Grenzen hat, so würde letzteres nach begonnener Drehung um so mehr in Schwung gerathen und über die Grenze der erforderlichen einen Abtheilung hinausgehn, als das aufgenommene Wasser bei anfangender Umdrehung sich weiter vom Unterstützungspuncte entfernt und dadurch ein gröſseres mechanisches Moment erhält. Das Horner'sche Instrument hat auſserdem einen Vorzug darin, daſs das Ausgieſsen an beiden Seiten an einer bestimmten Stelle erfolgt und ganz beendigt ist, wenn das Schiffchen wieder nach der entgegengesetzten Seite umzuschlagen beginnt. Es scheint mir daher eine nicht unwesentliche Verbesserung zu seyn, wenn man an jeder Seite des Schiffchens eine Röhre mit einem Trichter als Ablaufcanal anbringt, welcher zugleich statt der Stäbe zur Unterstützung des Schiffchens dienen kann und wodurch der übrige Raum des Kastens bis auf die gewöhnliche Feuchtigkeit der Luft trocken erhalten wird, was dann viel zur längern Dauer der feinern Maschinentheile beiträgt. Bei dem Taylor'schen Apparate läſst sich eine solche Vorrichtung nicht treffen, vielmehr erfolgt das Ausflieſsen in einer längern Zeit, über einem gröſsern Raume und bei fortgehender Drehung, ja es ist dabei zugleich unvermeidlich, daſs nicht das in den Zellen zusammenflieſsende Wasser auch noch dann herabträufeln sollte, wenn die Ausguſsöffnung bereits eine beträchtliche Höhe erreicht hat, wodurch dann der ganze innere Raum mit Feuchtigkeit erfüllt wird. Beide Vorrichtungen bieten noch eine Schwierigkeit dar, die unter Umständen einige Unrichtigkeit der Messung zur Folge haben kann. Bei heftigen Regenschauern nämlich, wenn fortwährend eine beträchtliche Menge Wasser durch die untere Oeffnung des Auffangetrichters abflieſst, wird noch ein Theil in diejenige Zelle gelangen, welche bereits ein Uebergewicht erhalten hat. Dieses Hinderniſs kann beim Horner'schen Hyetometer fast gänzlich beseitigt werden, wenn man die Zeit, während welcher das Scheideblech unter der Oeffnung hin und her bewegt wird, auf ein Minimum herabbringt. Zu diesem Ende, und um zugleich den Ausguſs des Schiffchens weit genug von den Maschinentheilen zu entfernen, würde ich vorschlagen, dem Schiffchen im Ganzen eine Länge von 10 Zoll zu geben, also einer jeden Seite 5 Zoll. Erheben sich die Enden dann

von der Mitte an gerechnet um 1 Zoll über die horizontale Ebene und durchlaufen sie bei jeder Schwankung einen Bogen von 2 Zoll, so bedarf das Scheideblech in der Mitte blofs die Höhe von 1 Zoll, indem das in ihnen enthaltene Wasserprisma von 0,5 Zoll Höhe und 2,5 Zoll Länge völlig genügt, um das zur Schwankung erforderliche Uebergewicht zu erzeugen. Fällt dann die geometrische Axe der Spitzen oder kleinen Zapfen, worauf das Schiff balancirt ist, mit derjenigen horizontalen Linie zusammen, in welcher (auch bei einem unten cylinderförmig eingebogenen Schiffchen) der unterste Theil des Scheideblechs den Boden des Schiffchens berührt, so durchläuft der obere Rand des Scheideblechs einen Bogen von $2 \times \frac{1}{5}$ oder $\frac{2}{5}$, also nicht einmal einem halben Zoll. Man wird also wohlthun, die untere Oeffnung des Auffangetrichters nur 0,2 Zoll breit, dagegen aber 1 bis 2 Zoll lang zu machen und dicht über das Scheideblech herabzudrücken, damit das herabfliefsende Wasser schnell aus der einen Zelle in die andere übergeht. Beim Taylor'schen Regenmafse läfst sich diese Schwierigkeit keineswegs auf gleiche Weise beseitigen, vielmehr wird bei demselben während der Umdrehung das aus der Trichteröffnung fliefsende Wasser auf den Rand der folgenden Zelle fallen und von da aus zum Theil in die nächst untere Zelle ablaufen, zum Theil aber auch umherspritzen und für die Messung ganz verloren gehn, nicht zu gedenken dafs eine hierdurch erzeugte Benetzung der innern Maschinentheile ganz unvermeidlich ist.

Es schien mir nicht unpassend, eine genaue und ins Einzelne eingehende Prüfung der Leistungen anzustellen, die man von den verschiedenen Hyetometern erwarten darf, und die bequemsten und sichersten derselben genau zu beschreiben, da die im Art. *Regen* angestellten Untersuchungen genügend darthun, wie wichtig es für die Meteorologie seyn würde, eine gröfsere Zahl zuverlässiger Messungen der den verschiedenen Orten zugehörigen jährlichen Regenmengen zu erhalten, als wir bis jetzt besitzen.

M.

Regulator.

Moderator; Régulateur; *Regulator.* So nennt man alle diejenigen Theile einer Maschine, welche, zuweilen für sich bestehende Maschinen bildend, dazu bestimmt sind, erstern einen bestimmten, meistens einen gleichbleibenden Gang zu ertheilen. Es giebt deren eine grofse Menge, welche nur in den wenigsten Fällen mit jenem Namen benannt werden, da sie meistens noch eine andere Bestimmung haben und ihre Bezeichnung von letzterer oder von einer andern wesentlichen Eigenschaft erhalten. Unter die Regulatoren gehört demnach hauptsächlich das *Schwungrad*[1], desgleichen das *Uhrpendel*, mithin auch die *Unruhe* der Taschenuhren, Borgnis[2] rechnet ferner dahin die Regulatoren der Walzenwerke, vermittelst deren die Walzen einander auf ungleiche Entfernungen genähert werden, ohne ihren Parallelismus zu verändern. Auf gleiche Weise giebt es verschiedene Regulatoren der Gebläse, um einen unveränderlichen Druck der Gase und dadurch gleichmäfsige Ausströmungsgeschwindigkeiten derselben zu erhalten[3]. Dahin gehören ferner die *excentrischen Scheiben*, welche verschiedenartige Krümmungen haben können, die *Schnecken*, sowohl in den Taschenuhren als auch bei sonstigen Maschinen, namentlich den Göpeln zur Regulirung des Gewichts der zunehmend verlängerten herabhängenden Ketten. Hiervon abweichend giebt Hachette[4] diesen Namen auch dem durch Murray[5] angegebenen *Manometer*, vermittelst dessen die Stärke des Drucks bei der hydraulischen Presse gemessen wird.

Vorzugsweise gebräuchlich und auch am meisten zu em-

---

1 Ausführlich über die Construction und die Wirkungen der Schwungräder handelt Navier im 1sten Theile von Belidor Architecture hydraulique Nouv. ed. IV. T. 4.

2 Traité complet de Mécanique. Machines employées dans diverses fabrications. p. 246.

3 Ebend. p. 44. u. Composition des Mach. p. 390. Vergl. Ann. des Arts et Manufactures T. XXV. p. 118.

4 Traité élém. des Machines. p. 208.

5 Bulletin de la Soc. d'Encour. 1816. N. 139.

pfehlen ist der *Centrifugalregulator*, welchen die Engländer schlechtweg Regulator oder *Governor* nennen und wovon vermuthlich WATT zuerst bei seinen Dampfmaschinen Gebrauch gemacht zu haben scheint. Derselbe ist bereits oben[1] gelegentlich erwähnt worden, verdient aber hier nochmals genauer beschrieben zu werden, da man so häufig bei Mühlen und sonstigen Gewerken, insbesondere bei Dampfmaschinen, Gebrauch davon zu machen pflegt. Nach der gewöhnlichen Einrichtung besteht er aus einer verticalen Spindel, welche um zwei Zapfen D D durch eine um die Rolle W geschlungene endlose Schnur oder einen Riemen gedreht wird. Die beiden Kugeln B, B sind an zwei um einen Zapfen in einer verticalen Ebene beweglichen Stangen befestigt, deren kürzere Arme E F, E F zwei andere Arme F H, F H in Bewegung setzen und vermittelst derselben den Ring H H auf der verticalen Stange auf- und abwärts schieben. An diesem Ringe ist der eine Arm des um den Zapfen G beweglichen Hebels I K befestigt, dessen anderer Arm die zur Regulirung der Maschine dienende Stange trägt. Befindet sich der Regulator in Ruhe, so sinken die Kugeln durch ihr Gewicht bis an die Stange herab, wird er aber zugleich mit den übrigen Maschinentheilen in Bewegung gesetzt, so entfernen sie sich durch die erzeugte Schwungkraft stets weiter von der Stange, je mehr die Geschwindigkeit der Umdrehung zunimmt. Geht ihre Höhe über eine gewisse Grenze hinaus, so schliefst bei den Dampfmaschinen die am Hebelarme K befestigte Stange das Dampfrohr, damit weniger Dampf zuströme, oder öffnet ein Ventil, um die Kraft des Dampfs zu mindern, oder verschliefst der zum Feuer strömenden Luft den Zutritt, um die Hitze zu mindern, oder hängt endlich mehrere zu betreibende Maschinentheile ein, um auch diese durch die genügend vorhandene Kraft arbeiten zu lassen. Letzteres geschieht auch häufig bei den verschiedenen Arten von Mühlen, bei denen seine Bestimmung sonst eigentlich darin besteht, durch Aufziehn und Herablassen der Schütze oder einer angebrachten Hülfs-Schütze die Geschwindigkeit des Wasserrads zu reguliren und nicht zu sehr über das erforderliche Mittel steigen zu lassen. Nach

Fig. 237.

---

1 S. Art. *Dampfmaschine*. Bd. II. S. 431. Daselbst ist er auch in Fig. 136. u. 137. gezeichnet.

Egen[1] wird zuweilen ein Arbeiter angestellt, welcher die Schützen nach der Höhe der Kugeln des Regulators mehr oder weniger öffnet, was insbesondere bei solchen Mühlrädern räthlich ist, deren Schützen für den Regulator zu schwer sind und bei denen dennoch ein stets gleichmäſsiger Gang wegen der zu fördernden Arbeiten, z. B. bei Drahtziehereien, sehr nothwendig ist.

Der genannte Regulator ist seinem Wesen nach ein doppeltes Centrifugalpendel, wobei man mit einer für den vorliegenden Zweck hinreichenden Genauigkeit den Einfluſs der Arme HFE vernachlässigen, das Centrum Oscillationis in den Mittelpunct der Kugeln setzen und also die Länge des Pendels vom Aufhängepuncte E bis zum Mittelpuncte der Kugel B annehmen kann. Heiſst diese dann l, so ist für dieses Pendel[2] die Zeit eines Umlaufs in Sexagesimalsecunden t

$$t = \pi \sqrt{\frac{2l}{g}},$$

und da hierin der Fallraum g in einer Secunde füglich zu 15 par. Fuſs angenommen werden kann, so ist für $\pi = 3,14159\ldots$

$$t = 1,1471 \sqrt{l} \text{ in Secunden.}$$

Es folgt ferner aus den Gesetzen des Pendels, daſs bei der Gleichheit des Sinus und des Cosinus des Elongationswinkels die Schwungkraft und die Schwere der Kugeln gleich sind, mithin wird für diesen Winkel = 45° das ganze Gewicht der Kugeln aufgehoben. Ferner ist oben gefunden worden, daſs das Centrifugalpendel doppelt so viele Zeit zur Vollendung eines Umlaufs bedarf, als das gewöhnliche Pendel für eine ganze Schwingung, und da für Pendel $t^2 : t'^2 = l : l'$, so folgt, daſs das konische Pendel nur den vierten Theil der Länge des gewöhnlichen Pendels haben müsse, wenn beide isochronisch schwingen sollen. Ist demnach die Länge des einfachen Secundenpendels = 440,429754 Lin. oder = 3,05854 Fuſs[3], so beträgt die des konischen Secundenpendels 0,764635

---

1 Untersuchungen über den Effect einiger in Rheinland-Westphalen bestehenden Wasserwerke. Berl. 1831. 4. S. 136.

2 S. oben S. 397.

3 Vergl. oben S. 374. Setzt man in die gegebene Formel t = 1 und sucht den Werth für l, so erhält man l = 0,76 Fuſs. Der ge-

Fuſs für den Abstand vom Aufhängepuncte bis zum Centrum Oscillationis. Dieses setzt aber eine schwere Kugel an einem nicht schweren Faden und Schwingungen in sehr kleinen Kreisen voraus; hängt dagegen die Kugel an einer schweren Stange, so rückt dadurch das Centrum Oscillationis höher hinauf und das Pendel muſs länger werden, wenn die Schwingungszeit unverändert bleiben soll. Für die Praxis würde es leicht seyn, die erforderliche Länge des physischen Pendels für eine gegebene Geschwindigkeit empirisch mit hinlänglicher Genauigkeit zu finden, wenn man dasselbe als gewöhnliches Pendel schwingen lieſse und es so herstellte, daſs diese Schwingungen die Hälfte der erforderlichen Zeitdauer erreichten. Die Dauer der Schwingungszeiten wird aber stets abnehmen, so wie die Kugeln einen gröſsern Elongationswinkel erhalten, und die Länge der Pendelstangen muſs daher wachsen, wenn ihre Geschwindigkeit bei gröſserem Abstande der Kugeln von der verticalen Spindel gleichbleiben soll, und zwar im Verhältnisse der Abnahme des Cosinus des Elongationswinkels. Soll letzterer daher 45° betragen, so betrüge die gefundene Länge des konischen Secundenpendels $\frac{0,76}{\cos. 45^\circ} = 1,075$ par. Fuſs. Man wird also eine für die Anlage einer Maschine hinlängliche Genauigkeit erhalten, wenn man die Kugel an ihrer Stange schwingen läſst, dieses Pendel so regulirt, daſs seine Schwingungen die Hälfte der Zeitdauer erlangen, in welcher der Regulator eine Umdrehung vollenden soll, und dann diese uncorrigirte Länge L in die corrigirte $L' = L \frac{1}{\cos. \alpha}$ verwandelt, wobei α denjenigen Winkel bezeichnet, welchen die Stange der Kugel mit der Spindel des Regulators bildet.

Bei der mittlern Geschwindigkeit der Umdrehungen des Regulators und dem dieser proportionalen Winkel übt derselbe keinen Einfluſs auf die Maschinentheile aus, wohl aber sobald jene wächst oder abnimmt, wobei die Wirkungen desselben einander entgegengesetzt sind. Das Gewicht der Kugeln muſs derjenigen Kraft proportional seyn, welche zur Erzeugung der Veränderungen erforderlich ist, die sie bei den Maschinen-

---

ringe Unterschied entsteht dadurch daſs g etwas zu gering genommen ist.

theilen hervorbringen sollen, und hiernach giebt Egen dasselbe für Wasserwerke zu 60 bis 80 Pfund an. Dennoch sind sie auch dann oft nicht im Stande, die schweren Schützen grofser Räder aufzuziehn oder herabzudrücken, vielmehr geschieht dieses durch das Wasserrad selbst, mit dem die Regulatoren einen hierzu geeigneten Mechanismus kuppeln. Bei Dampfmaschinen geschieht die Regulirung wohl ohne Ausnahme unmittelbar[1].

Es sind noch verschiedene andere Regulatoren in Vorschlag gebracht worden, sie stehn aber meistens dem eben beschriebenen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und Zweckmäfsigkeit nach. Preuss unter andern schlug vor, die Dampfklappe vermittelst eines Schwimmers in einer Cisterne, woraus der Dampfkessel gespeist wird, zu reguliren, indem der Schwimmer durch den ungleichen Stand des Wassers in der Cisterne steigen oder sinken sollte[2]. Bei Wasserwerken soll das Mühlrad zugleich vermittelst einer kleinen Pumpe Wasser in eine solche Cisterne heben, welches durch eine ungleich erweiterte Oeffnung wieder abfliefst und beim schnellern Gange des Rads, mithin auch der Pumpe, steigt, beim langsamern dagegen fällt und hiernach also den Schwimmer hebt oder sinken läfst; allein Egen verwirft diesen Vorschlag. Weiss hat einen Regulator erfunden und praktisch in Anwendung gebracht, wofür ihm vom Preufsischen Gewerbvereine die silberne Medaille ertheilt wurde. Derselbe besteht aus einer Pendeluhr, welche durch ein Gewicht in Bewegung erhalten wird. Letzteres steht mit dem Mühlrade in Verbindung und wird durch dieses bei seinem normalen Gange um eben soviel wieder gehoben, als es herabsinkt, mufs aber bei verminderter Geschwindigkeit desselben tiefer sinken, bei vermehrter höher steigen, und dient dann in beiden Fällen unmittelbar dazu, die Schütze mehr oder weniger aufzuziehn und somit die Geschwindigkeit des Wasserrads zu reguliren. Ein durch Arthur Woolf vorgeschlagner Regulator[3], welcher die Menge

---

1 Ueber die Regulatoren für Wasserwerke s. Buchanan Practical Essays on Millwork. T. II. p. 177.

2 Phil. Mag. 1823. Oct. H. Weber Beiträge zur Gewerbe- und Handelskunde. Berl. 1825. Th. I. S. 116.

3 Nicholson's Journal. T. VI. p. 249. Daraus in G. XXI. 456.

des ausströmenden Dampfs zugleich mifst und regulirt, ist ohne Zeichnung nicht wohl verständlich und schwerlich viel in Anwendung gebracht worden. *M.*

Reibung.

Friction; *Frictio*, *Affrictus*, *Attritus*[1]; Frottement; *Friction*; ist der Widerstand, welchen ein fester Körper leidet, indem seine Oberfläche sich auf oder an der Oberfläche eines andern Körpers fortbewegt. Wir reiben einen Körper an dem andern, wenn wir mit einem Drucke gegen die Oberfläche des zweiten den ersten fortbewegen; bei diesem Reiben greifen die rauhen Theile beider Oberflächen in einander und widerstehn daher der Bewegung; sind die Theile der Körper nur von schwachem Zusammenhange, so werden sie *zerrieben*, das heifst, die Theile trennen sich und fallen als Pulver oder Staub ab; jedoch ist nicht dieser Erfolg, sondern nur der Widerstand gegen die Bewegung der Gegenstand, den wir hier betrachten. Ein vollkommen glatter und vollkommen harter Körper würde an seiner Oberfläche gar keine Reibung darbieten, Rauhheit dagegen ist die eine Ursache der Reibung und Mangel an Härte, da die Oberfläche dem Drucke nachgiebt und auf diese Weise Unebenheiten entstehn, eine zweite Ursache.

Die Reibung ist gröfser, wenn eine Oberfläche über die andre fortgezogen, als wenn sie über ihr fortgewälzt wird, und man unterscheidet die *gleitende Reibung* von der *rollenden* oder *wälzenden Reibung*; bei jener mufs jedes Theilchen des bewegten Körpers sich von dem es zurückhaltenden Theilchen des unbewegten Körpers losreifsen, bei dieser hingegen wird ein neues Theilchen des bewegten Körpers zur Berührung gebracht und das durch die Rauhheit der Unterlage festgehaltene Theilchen mehr gehoben als fortgeschleift, woraus dann leicht der geringere Grad von Reibung erklärt wird.

Die Reibung hängt so sehr von der zufälligen Beschaffenheit der Oberflächen ab, dafs über ihre absolute Gröfse fast

---

1 Euler unterscheidet sehr richtig zwischen *frictio* und *attritus*; *frictio ex attritu nata*, also Reibungswiderstand (*frictio*) als Erfolg des *attritus*.

gar keine allgemeinen Bestimmungen möglich sind; in Beziehung auf die relative Gröfse gilt, wenn immer dieselben Reibungsflächen angewandt werden, sehr nahe die Regel, dafs die Reibung der drückenden Kraft, welche die Oberflächen senkrecht gegen einander prefst, proportional ist und dagegen von der Gröfse der Fläche nur wenig abhängt. Der Grund dieser Regel läfst sich insofern wohl einsehn, als bei vermehrter Reibungsfläche zwar die Anzahl der in einander greifenden Rauhheiten oder der Theilchen, die der Bewegung Hindernisse entgegensetzen, gröfser wird, aber auch jedes Theilchen mit geringerer Gewalt zwischen die hindernden Rauhheiten hineingeprefst wird, wenn der Druck im Ganzen derselbe bleibt und sich also auf desto mehr einzelne Theilchen vertheilt, je gröfser die Oberfläche ist, auf welcher die Reibung statt findet.

In dem Widerstande, welchen zwei über einander fortbewegte Oberflächen fester Körper leiden, vereinigen sich eigentlich zwei Umstände, die abgesondert betrachtet werden sollten, die Adhäsion der beiden Oberflächen an einander und die eigentliche Reibung, die durch die Rauhheiten der Oberflächen hervorgebracht wird. Jene hängt von der Gröfse der Oberflächen ab und ist bei Flächen, die man mit Fett, Seife oder ähnlichen Körpern bestrichen hat, erheblich grofs, so dafs, während diese Körper die eigentliche Reibung vermindern, sie doch den Zusammenhang beider Oberflächen vermehren. Hierbei finden so viele Verschiedenheiten statt, dafs sich allgemeine Regeln gar nicht geben lassen, indem zum Beispiel Metalle mit fetten Materien bestrichen geringere Reibung leiden, aber doch bei längerer Einwirkung des Oels auf die Oberfläche oft diese angegriffen wird und die zum Bestreichen angewandten Theile nun zäh und hindernd werden. Diese Bemerkungen gelten für alle verschiedenen Arten der Reibung.

I. Gleitende Reibung.

Diese findet überall da statt, wo die Theile der einen Oberfläche parallel mit der andern Oberfläche fortbewegt werden sollen, also auch da, wo ein Zapfen sich in einem Zapfenlager dreht, indem auch da der berührende Punct auf der

Oberfläche, auf welcher er ruht, fortgezogen, nicht von ihr abwärts gehoben wird, auf die Weise, wie es beim Fortwälzen geschieht.

Da man die Regel, daſs die Reibung dem Drucke proportional ist, wenn die Beschaffenheit der beiden Reibungsflächen dieselbe bleibt, als ziemlich nahe richtig ansehn kann, so ist die Hauptfrage, die man zu beantworten gesucht hat, welchen Theil des Drucks man als der Reibung gleich finde. Der Bruch, mit welchem man das drückende Gewicht multipliciren muſs, um die Reibung zu finden, heiſst der Reibungscoefficient.

Dieser sollte demnach, wenn die Reibung streng dem Drucke proportional wäre, bei gleichen an einander reibenden Körpern stets gleich hervorgehn, die Belastung möchte gröſser oder kleiner seyn; aber Coulomb bemerkt, daſs dieses nur bei stärkerem Drucke ziemlich nahe richtig ist, wogegen bei schwächerem Drucke die Gröſse der Fläche etwas mehr in Betrachtung komme. Es sind hier indeſs mehrere Umstände, die eine genaue Bestimmung gänzlich hindern, indem auf die sorgfältige Bearbeitung der angewandten Flächen so sehr viel ankommt und selbst ein längere Zeit dauernder Druck die Oberflächen mehr in einander preſst.

Nur durch Versuche läſst sich der Reibungscoefficient finden und diese Versuche hat man auf mehrerlei Weise angestellt. Die einfachste Methode ist, die Kraft zu bestimmen, mit welcher ein auf einer genau horizontalen Ebene liegender Körper von bestimmtem Gewichte fortgezogen werden kann. Bedient man sich dabei einer Rolle C, um den Körper A nach einer genau mit der horizontalen Ebene DE parallelen Richtung fortzuziehn, so würde das Gewicht B genau die absolute Gröſse der Reibung angeben, wenn das Seil an der Rolle und die Axe der Rolle an ihrer Unterlage nicht ebenfalls eine Reibung erlitten; diese müſste daher durch einen besondern Versuch erst bestimmt werden, um ein reines Resultat für die Reibung, die A an DE leidet, zu erhalten. Um die Rücksicht auf die Rolle ganz wegschaffen zu können, wäre es am besten, zwischen A und C eine Federwaage einzuspannen, die, vorher genau berichtigt, durch ihre Scale die Spannung des Seils AC angäbe.

Fig. 238.

Amontons und Leupold haben ihre Versuche auf diese

Weise angestellt[1], und auch Coulomb hat ein ähnliches Verfahren beobachtet, aber zugleich den Unterschied beachtet, den man für den ersten Anfang der Bewegung und für die schon eingetretene Bewegung findet. Wenn man die ziehende Kraft bis zu einem solchen Grade vermehrt, dafs nur noch wenig fehlt, um die ruhende Last in Bewegung zu setzen, so bringt die geringste Erschütterung der Unterlage die Last wirklich in Bewegung. Indem nämlich bei der Erschütterung sich die aufliegende Last um etwas weniges hebt, so ist sie von den Hindernissen der Reibung freier und fängt an dem Zuge der Kraft zu folgen; sehr oft dauert dann die angefangene Bewegung fort, weil die Theilchen nicht mehr Zeit finden, sich wieder so fest in einander zu passen, wie es bei dauernder Ruhe der Fall gewesen war. Diese Wirkung der Erschütterung ist auch bei den übrigen Methoden, die Reibung zu bestimmen, auf ähnliche Weise wirksam, und man bedient sich derselben auch sonst da, wo eine geringe Kraft die Reibung überwinden soll, z. B. wenn die magnetische Kraft einer Nadel zu schwach ist, um die Reibung zu überwinden, so erhält man durch eine leise Erschütterung eine richtige Stellung der Nadel.

Wenn man einem Körper, der auf einer horizontalen Ebene fortgezogen wird, eine Geschwindigkeit ertheilt, so bleibt die Bewegung gleichförmig, wenn die ziehende Kraft genau der Reibung gleich ist, und die Beobachtung der durchlaufenen Räume, aus denen sich die Gleichförmigkeit der Bewegung ergiebt, dient also um zu finden, ob die ziehende Kraft genau der Reibung gleich ist. Coulomb hat bei seinen Versuchen hierauf seine Aufmerksamkeit gerichtet.

Eine zweite Methode, die Reibung zu bestimmen, bietet die geneigte Ebene dar. Wäre keine Reibung, so würde ein Körper auf jeder Ebene, wenn sie auch sehr wenig geneigt wäre, sobald sie nur von der horizontalen abwiche, herabgleiten; aber es ist bekannt, dafs in vielen Fällen der Neigungswinkel sehr bedeutend seyn kann, ehe das Herabgleiten anfängt. Wenn man durch eine sehr leise Hebung den Nei-

---

1 Mém. de l'Acad. de Paris. 1699. 104. Leupold Theatr. mach. gen. Cap. 16.

gungswinkel allmälig vergröſsert und genau die Gröſse desselben $= \alpha$ wahrnimmt, bei welcher die herabwärtstreibende Kraft die Reibung überwindet, so ist Tang. α der Reibungscoefficient. Es wäre nämlich eine mit der geneigten Ebene parallel wirkende Kraft $=$ P. Sin. α erforderlich, um die Last $=$ P auf der so geneigten Ebene durch einen mit ihr parallelen Zug zu erhalten, und diese hält bei dem Grade der Neigung, wo das Herabgleiten im Begriffe ist anzufangen, der Reibung das Gleichgewicht. Diese Reibung ist aber dem gegen die Ebene senkrechten Drucke $=$ P. Cos. α proportional, also $=$ f. P. Cos. α, wenn f der Reibungscoefficient ist; man hat daher f. P. Cos. α $=$ P. Sin. α oder f $=$ Tang α.

Eine dritte Methode, die Gröſse der Reibung zu bestimmen, ist besonders zweckmäſsig, wenn man die Reibung der Zapfen in ihren Lagern zu wissen verlangt. Es sey A eine cylindrische Welle, die auf dem ihr genau concentrischen Zapfen B ruht, so sollte, wenn man auch sehr groſse Gewichte P $=$ P anhängt, die sich vermittelst eines über die Welle laufenden Seils das Gleichgewicht halten, das allerkleinste dem einen Gewichte hinzugefügte Uebergewicht zureichen, um eine Bewegung hervorzubringen; aber die Reibung fordert schon ein erhebliches Uebergewicht, um überwunden zu werden. Musschenbroeck hat seine Versuche zum Theil mit diesem Instrumente, das er *Tribometer* nennt (von τρίβω, ich reibe), angestellt. Offenbar kommt hier das *Moment der Reibung* in Betrachtung, und wenn das Uebergewicht $=$ Q an der Welle vom Halbmesser $=$ R wirkt, statt daſs die Reibung am Umfange des Zapfens vom Halbmesser $=$ r statt findet, so ist das Maſs der Reibung $= \frac{Q \cdot R}{r}$ oder, wenn die Belastung $= 2P + Q$ war (das Gewicht der Welle mit eingeschlossen), so ist der Reibungscoefficient

Fig. 239.

$$f = \frac{Q}{2P + Q} \cdot \frac{R}{r}.$$

Dieser Reibungsmesser bestimmt also, wenn man die Reibung und Steifheit des über die Walze gehenden Seils nicht zu beachten braucht, geradezu die Gröſse der Reibung, und Musschenbroek wandte ihn an, um bei Zapfen aus verschiedenen Materien und Zapfenlagern von verschiedener Art

die Gröfse der Reibung zu bestimmen[1]. Ein anderes Instrument, dem man auch den Namen *Reibungsmesser* beilegt, ist von Desaguliers angegeben worden; es scheint aber mehr geeignet zu oberflächlichen als zu ganz genauen Bestimmungen. Dieser Reibungsmesser besteht aus einer Axe, deren Reibung auf verschiedenartigen Zapfenlagern oder auf Frictionsrollen bestimmt werden soll, und aus einer an diese Axe mit ihrem einen Ende befestigten Spiralfeder. Da das andre Ende der Feder an einem unbeweglichen Theile des Instruments befestigt ist, so kann man die Feder dadurch, dafs man jene Axe dreht und die Feder auf diese Weise enger an die Axe heranzieht oder sie gleichsam aufwickelt, willkürlich spannen. Wird hierauf die Axe losgelassen, so kehrt die Feder zu ihrem natürlichen Zustande zurück, geht über diesen hinaus, fängt eine rückwärtsgehende Oscillation an und würde diese Oscillationen unaufhörlich fortsetzen, wenn nicht der Widerstand der Reibung dieses hinderte. Macht man also die Reibung bei dem einen Versuche stärker als bei dem andern, etwa durch angehängte Gewichte, die die Reibung der Axe in ihren Lagern vermehren, oder durch veränderte Unterlagen der Axen, so sieht man die Feder nach einer geringen Anzahl von Schwankungen zur Ruhe kommen, wogegen sich diese Oscillationen bei geringerer Reibung viel öfter wiederholen. So dient das Instrument allerdings zur Bestimmung der Ungleichheit der Reibung, aber es würde nicht ohne Schwierigkeit zu einer strengen Abmessung eingerichtet werden.

Unter den Versuchen, welche zur Bestimmung der Reibung, sofern sie dem Entstehen der Bewegung entgegenwirkt, angestellt worden sind, verdienen die von Musschenbroek, Coulomb und Vince wohl am meisten Berücksichtigung. Dafs man kein für alle verschiedenen Körper geltendes Gesetz der Reibung finden könne, da sie alle an Structur, Härte, Rauhheit u. s. w. verschieden sind, bemerkt schon Musschenbroek mit Recht. Er untersuchte die Reibung mehrerer Holzarten, die entweder über gleichartige oder ungleichartige Holzflächen fortbewegt wurden, und fand die Reibung

1. v. Musschenbroek elem. physicae. p. 127.

nicht ganz dem Drucke proportional, sondern langsamer zunehmend, als den Druck. Die Versuche mit dem Tribometer entsprachen dagegen nicht immer dieser Regel, sondern gaben in einigen Fällen bei grösserem Drucke, in andern Fällen bei kleinerem einen grössern Reibungscoefficienten. Eine stählerne Axe litt weniger Reibung auf Messing, als auf Kupfer, und ohngefähr war für eine stählerne, nicht mit Oel bestrichene Axe der Reibungscoefficient $= \frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ auf einer Unterlage von Messing oder von Blei, $\frac{3}{14}$ bis $\frac{1}{6}$ auf Kupfer, etwa $\frac{3}{16}$ bis $\frac{1}{4}$ auf Stahl, $\frac{4}{17}$ bis $\frac{1}{4}$ auf Guajakholz; beim Bestreichen mit Oel ward die Reibung der stählernen Axe auf Messing $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{8}$, auf Stahl $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$, auf Zinn nahe $\frac{1}{4}$ gefunden.

Coulomb hat eine vielmehr umfassende Reihe von Versuchen angestellt[1]. Eine hölzerne Unterlage, eine Art von Schlitten, ward auf einer sehr polirten hölzernen horizontalen Ebene fortgezogen, und hier fand sich, zuerst für Eichenholz auf Eichenholz nach der Richtung der Fasern, dass der Reibungscoefficient ungefähr $= 0{,}43$ war. Bei einer grössern Reibungsfläche war die Reibung kaum halb so gross, wenn man den Druck, der bis auf 2474 Pfund ging, nur einen Augenblick dauern liess, aber nach nur etwas längerer Dauer hatte die Reibung schon ihre ganze Grösse erreicht; bei einer kleinen Reibungsfläche war die Zeit, wo die Reibung geringer seyn mochte, ganz unmerklich. Bei grossen Reibungsflächen und geringen Belastungen zeigten sich auffallende Ungleichheiten in dem Resultate der einzelnen Versuche, wogegen bei grossen Belastungen und kleinen Reibungsflächen die Reibung fast genau dem Drucke proportional war.

Versuche mit Eichenholz auf Tannenholz gaben ähnliche Ungleichheiten, aber 0,66 als Reibungscoefficienten; Tannenholz auf Tannenholz $= 0{,}56$. Wurde die Unterlage von Eichenholz mit den Fasern quer gegen die Fasern des festen Tisches fortgezogen, so betrug der Reibungscoefficient 0,26 und die Reibung kam erst nach etwas längerer Zeit zu der Grenze, die sie bei dauerndem Drucke erreicht.

Die Versuche über die Reibung zwischen Holz und Me-

---

1 Mém. présent. à l'acad. de Paris. T. X. 166.

tall sind vorzüglich dadurch merkwürdig, daſs die längere Dauer des Drucks die Reibung so sehr vermehrte. Eine Last von 1650 Pfund auf Unterlagen von Eisen über Eichenholz nach der Richtung der Fasern fortgezogen forderte nur 125 Pfund Kraft, nachdem der Druck $\frac{1}{2}$ Sec. gedauert hatte, 145 Pfund nach 80 Sec., 280 Pfund nach 16 Stunden, 340 Pfund nach 4 Tagen, so daſs man den Reibungscoefficienten von 0,08 bis 0,2 wachsend angeben müſste. Bei Metallen, die sich über einander fort bewegen, nimmt dagegen die Reibung bei längerer Dauer des Drucks nicht merklich zu. Coulomb erhielt für Eisen auf Eisen 0,285, für Eisen auf Messing 0,26 und bei sehr kleinen Berührungsflächen, sobald diese durch einen wiederholten Gebrauch sich recht polirt hatten, nur 0,17.

Alle diese Versuche wurden ohne irgend ein Bestreichen mit einer andern Substanz angestellt; bei den folgenden ward eine Schicht Seife zwischen die reibenden Körper gebracht. Betrug die Dicke dieser Schicht eine halbe Linie, so nahm die Reibung bei gröſserer Reibungsfläche ganze 6 Tage lang zu, so daſs bei 3250 Pfund Druck im ersten Augenblicke die Reibung nur 120 Pfund, nach einer Minute 413 Pfund, nach 1 Stunde 880 Pfund, nach 5 Tagen 1200 bis 1550 Pfund betrug; bei sehr kleiner Reibungsfläche dagegen erreichte die Reibung schnell ihr Maximum. War die Bestreichung mit Seife durch mehrmaligen Gebrauch abgeglättet, so nahm dennoch die Reibung bei längerer Dauer des Drucks stark zu, etwa von 0,08 bis 0,25 des ganzen Drucks. Metallflächen, namentlich Eisen und Kupfer, auf einander fortbewegt, zeigten auch hier keine groſse Verschiedenheit bei ungleicher Dauer des Drucks, so daſs die Reibung von 0,09 nur etwa bis auf 0,10 stieg. Um eine richtige Vergleichung zwischen der Reibung und dem Drucke anzustellen, muſste man für das Klebende der mit Seife bestrichenen Oberflächen etwas abrechnen und fand dann für unmerklich kurze Dauer des Drucks $\frac{1}{11}$ und für lange dauernden Druck $\frac{1}{8}$ als Gröſse des Reibungscoefficienten.

Eine zweite Reihe von Versuchen betraf die Reibung während der Bewegung. Es ward auch hier der Körper auf einem genau horizontalen festen Tische fortgezogen, aber jetzt mit Hülfe eines Pendels beobachtet, wie weit der aufgelegte

Körper in bestimmter Secundenzahl fortgezogen worden war; fand sich die Bewegung, die man durch eine leichte Erschütterung hervorgebracht hatte, gleichförmig, so war das ziehende Gewicht genau der Reibung gleich. Die Versuche zeigten, daſs bei groſsen Reibungsflächen die Reibung bei vermehrter Geschwindigkeit etwas zunahm, statt daſs sie bei sehr kleinen Reibungsflächen eher abnahm; beides war indeſs so wenig, daſs man die Reibung als eine constante, von der Geschwindigkeit unabhängige Kraft ansehn konnte. Die Reibung betrug bei Eichenholz auf Eichenholz während der Bewegung ziemlich genau 0,105; doch betrug sie bei geringer Belastung einen gröſsern Theil des Drucks, und man muſste schlieſsen, daſs ein Theil des Widerstands durch die Gröſse der Oberfläche, durch die Beugung der Fasern bestimmt würde, der andere Theil nach dem Maſse des Drucks wachse; der erste Theil scheint bei vermehrter Geschwindigkeit zuzunehmen, weshalb bei schwachem Drucke, wo der erste Theil von mehr Einfluſs ist, auch die vermehrte Geschwindigkeit den Widerstand vergröſsert. Die Reibung in der Bewegung war bei Eichenholz mit gekreuzten Fasern nicht viel geringer, als bei parallelen Fasern; aber statt daſs der Reibungscoefficient bei parallelen Fasern sich geringer findet, wenn die Reibungsfläche kleiner ist, und hier bei gröſsern Geschwindigkeiten nicht so zunimmt, wie es bei gröſsern Reibungsflächen der Fall ist, findet man bei gekreuzten Fasern einen solchen merklichen Unterschied nicht.

Wenn Eisen auf Eichenholz fortgezogen wurde, so betrug bei sehr geringen Geschwindigkeiten die Reibung ungefähr 0,08 des Drucks, bei etwas schnellerer Bewegung betrug sie mehr.

Für Eichenholz mit Seife bestrichen und über Eichenholz fortgezogen betrug in der Bewegung, wo also die Dauer des Drucks verschwindet, der Reibungscoefficient nur 0,037; aber bei abnehmendem Drucke nahm er stark zu, so daſs der für die Adhäsion der Oberflächen an einander zu rechnende Theil (5 Pfund auf 180 Quadratzoll) hier sehr merklich wurde, statt daſs er bei starkem Drucke gegen den dem Drucke proportionalen Theil fast nicht in Betrachtung kam. Bei sehr schmalen Oberflächen betrug die Reibung fast immer 0,06 des Drucks, die Bestreichung mit Seife mochte neu oder abgerieben seyn,

und auch Verschiedenheit der Geschwindigkeit hatte hier keinen Einfluſs. Indeſs erhält man nur dann gleichförmige Resultate, wenn die Seife durch wiederholte Fortbewegung der Körper glatt abgenutzt und ganz in die Poren eingedrungen ist.

Ueber die Reibung von Metallen auf Holz, das mit Seife bestrichen ist, macht Coulomb folgende Bemerkung. Wenn Metalle über so bestrichenen Holzflächen fortgleiten, so bringt man geringe Geschwindigkeiten mit sehr geringer Kraft hervor, aber wenn man gröſsere Geschwindigkeiten erhalten will, so ist der Widerstand viel gröſser; auſserdem ist die Reibung viel gröſser, wenn man diesen Ueberzug von Fett oder Seife nicht immer erneuert, indem die Veränderung, welche diese zum Bestreichen angewandten Körper dann erleiden, sehr viel gröſsere Reibung hervorbringt. Bei einem Versuche, wo sich eine Kupferfläche von 45 Quadratzoll auf Eichenholz rieb, unter einem Drucke von 1650 Pfund, wurden bei den ersten Versuchen nach dem frischen Bestreichen mit Seife 3 Fuſs in 4 Sec. zurückgelegt, als die ziehende Kraft 100 Pfund betrug, aber bei dem zehnten Versuche dieselben 3 Fuſs erst in 11 Secunden, bei dem zwölften Versuche in 34 Secunden, bei dem sechzehnten Versuche wollte die Bewegung gar nicht mehr fortgehn, obgleich die ziehende Kraft immer dieselbe blieb.

Bei sehr schmalen Reibungsflächen half das Bestreichen sehr wenig, da die angewandte Seife oder das Fett fast ganz seitwärts gedrückt wurde und die Oberflächen also keinen glättenden Ueberzug mehr behielten.

Die Versuche über die Reibung stählerner Axen in kupfernen Büchsen gaben diese 0,15 bis 0,19 und dieser Coefficient blieb bei allen stärkern Belastungen gleich, nur bei schwächern Pressungen wurde er, vermuthlich wegen Unvollkommenheit der Politur, etwas gröſser gefunden. Durch ein Bestreichen mit feiner Seife ging die Reibung bis auf 0,09 herab. Im Allgemeinen war die Reibung der Axen in ihren Büchsen oder Zapfenlagern etwas geringer, als die gleitende Reibung ebener Flächen über einander.

Die übrigen zahlreichen Versuche, die über manche Einzelnheiten Belehrung geben, aber doch auch zeigen, wie ganz unmöglich es ist, für einen Gegenstand, der von unzähligen

Nebenumständen abhängt, genaue Gesetze zu finden, übergehe ich hier.

Die Hauptregel, daſs man in den meisten Fällen, wo die Belastung erheblich ist, die Reibung sehr nahe als dem Drucke proportional und als von der Geschwindigkeit wenig abhängig ansehn könne, läſst sich indeſs wohl als hierdurch hinreichend begründet ansehn, wenn sie auch, wie wir gesehn haben, manche nicht ganz unbedeutende Abweichungen von der strengen Genauigkeit giebt. Die von einigen andern Physikern angenommene Abhängigkeit der Reibung von der Geschwindigkeit scheint nicht statt zu finden und auch v. GERSTNER behauptet, daſs neuere Untersuchungen bei den groſsen Geschwindigkeiten auf den Eisenbahnen dasselbe ergeben haben[1].

Die Versuche von VINCE[2] sind zwar auch so angestellt worden, daſs er den Körper auf einer horizontalen Ebene durch eine horizontal wirkende Kraft fortziehn lieſs, aber da er die Frage, ob die Friction als eine gleichförmig widerstehende Kraft wirke, zu beantworten wünschte, so beobachtete er genau die Falltiefen des ziehenden Gewichts für verschiedene Dauer der Bewegung. War nämlich P das Gewicht des auf der Ebene fortgezogenen Körpers, fP die Reibung, Q das ziehende Gewicht, so muſste $\frac{Q - fP}{P + Q} \cdot gt^2$ der Ausdruck für den Fallraum seyn, und da sich aus den beobachteten Fallräumen für verschiedene gegebne Werthe von t gleiche Werthe von f ergaben, so zeigte sich die Reibung als eine constant wirkende Kraft. Diese Experimente lieſsen eine sehr genaue Bestimmung des Reibungscoefficienten zu. In Beziehung auf den Druck fand VINCE, daſs die Reibung nicht völlig dem Drucke proportional wächst, sondern bei groſsen Belastungen der Reibungscoefficient etwas geringer gefunden wird, wenn auch alle andern Umstände gleich bleiben. Waren die Belastungen gleich, aber die reibende Fläche verschieden, so zeigte sich die Reibung kleiner bei der kleinern Fläche. Alle diese Versuche sind indeſs nur bei geringem Drucke angestellt worden und sind daher nicht so umfassend, als die von COULOMB angestellten, mit denen sie jedoch der Hauptsache nach übereinstimmen.

---

1 Handb. der Mechanik, I. 496.

2 Phil. Transact. 1785. 165.

Die Reibung muſs überall, wo man Gleichgewicht erhalten oder Bewegung hervorbringen will, in Betrachtung gezogen werden, und zwar auf entgegengesetzte Weise, indem sie uns die Erhaltung der Ruhe erleichtert und uns die Bewirkung der Bewegung erschwert. Wäre keine Reibung, so würden schon bei sehr geringer Neigung einer Fläche alle Körper auf ihr herabgleiten und wir selbst würden auf einer abhängigen Fläche nicht hinaufgehn können, so wie uns dieses auch auf glattem Eise, wo die Reibung nur gering ist, sehr schwierig wird.

Um eine nicht zum Wälzen, sondern bloſs zum Fortschieben geeignete Last $= P$ auf einer unter dem Winkel $= \alpha$ gegen den Horizont geneigten Ebene bloſs zu erhalten, würde eine Kraft $= P. \text{Sin.}\ \alpha$ der Ebene parallel erforderlich seyn, wenn keine Reibung statt fände; aber wenn f der Reibungscoefficient ist, so reicht eine Kraft $= P\ (\text{Sin.}\ \alpha - f\ \text{Cos.}\ \alpha)$ aus, um die Last zu erhalten, und diese Kraft ist $= 0$, wenn $\text{Tang.}\ \alpha = f$ ist; auch, so lange $\text{Tang.}\ \alpha < f$ ist, bedarf es gar keiner Kraft, um das Hinabgleiten zu hindern. Soll dagegen die Last auf der geneigten Ebene hinaufwärts bewegt werden, so ist dazu eine Kraft $= P\ (\text{Sin.}\ \alpha + f.\ \text{Cos.}\ \alpha)$ erforderlich, weil die Reibung als eine entgegenwirkende Kraft zugleich mit überwunden werden muſs. Ist der Reibungscoefficient sehr klein, so ist die Aenderung der zum Hinaufziehn der Last erforderlichen Kraft sehr bedeutend, wenn auch α sich nur wenig vergröſsert, z. B. bei $f = \frac{1}{160}$, was ungefähr dem Widerstande der Wagen auf Eisenbahnen gleich ist, würde die erforderliche Ziehkraft seyn

$$\text{bei}\ \alpha = 0°, = \tfrac{1}{160} = 0{,}00625,$$
$$\text{bei}\ \alpha = 30°, \quad = 0{,}0150,$$
$$\text{bei}\ \alpha = 1°, \quad = 0{,}0237,$$

so daſs bei einem Steigen von 9 Fuſs auf 1000 Fuſs die Kraft schon fast zum 2½fachen wachsen muſs. Wäre dagegen $f = \frac{1}{25} = 0{,}04$, so hätte man für $\alpha = 0 \ldots.\ 0{,}04.P$,
für $\alpha = 1° \ldots.\ 0{,}057.P$,
also die Zugkraft bei 17½ Fuſs Steigen auf 1000 Fuſs nur bis zum 1½fachen vergröſsert. Der Nutzen einer sehr herabgesetzten Reibung bleibt daher zwar immer wichtig, aber gewährt doch nur bei ganz horizontalen Bahnen den gröſsten Vortheil, und da man bei Eisenbahnen dem einen Pferde so-

viel zu ziehn giebt, als es auf horizontaler Bahn fortbringen kann, so müſste man nothwendig 2 Pferde vorspannen, wenn der Weg auch nur 7 Fuſs auf 1000 Fuſs steigt.

Die groſse Reibung, welche in vielen Fällen statt findet, erlaubt uns oft, jede andere Kraft wegzunehmen, wo es bloſs auf ein Erhalten der Last ankommt. Eine Schraube, mit welcher eine erhebliche Last hinaufgeschraubt ist, wird nicht so leicht sich zu drehn anfangen, sondern meistens klemmen sich hier die Gänge so in einander, daſs man zum Heben der Last eine sehr groſse Kraft, zum Erhalten der Last gar keine Kraft nöthig hat.

Wo die Drehung einer Axe oder eines Zapfens hervorgebracht werden soll, muſs man auf das *Moment der Reibung* an dieser Axe Rücksicht nehmen. Die Reibung ist nämlich als eine nach der Richtung der Tangente des Zapfens wirkende Kraft anzusehn, die der Bewegung desto wirksamer widersteht, je entfernter sie vom Drehungspuncte oder der geometrischen Axe des Zapfens ist. Daher ist es vortheilhaft, die Axe von geringem Durchmesser zu nehmen, damit das Moment der Reibung klein sey. Hiermit steht der Vortheil in Verbindung, den man sich von den Frictionsrollen verspricht. Nach POPPE's Angabe sind diese von HEINRICH SULLY im Jahre 1726 zuerst vorgeschlagen worden[1]. Sie dienen, indem die eigentliche Axe C nicht auf einer festen Unterlage, sondern auf dem Umfange der beweglichen Räder A, B liegt, um die Reibung fast in dem Verhältnisse herabzusetzen, welches durch das Verhältniſs zwischen den Durchmessern der Axe a, b und der Rollen A, B angegeben wird. Es sey nämlich das die Axe C belastende Gewicht = P, so würde f.P die Reibung an dieser Axe seyn, wenn sie auf einer festen Unterlage läge, und eine Kraft = f.P am Umfange der Axe C würde nöthig seyn, die Reibung zu überwinden. Aber da A und B Rollen sind, die eine freie Bewegung um a, b haben, so bringt eine Bewegung der Axe C eine Dre-

Fig. 240.

---

1 J. H. M. POPPE pract. Abh. über d. Lehre v. d. Reibung. (Göttingen 1801) S. 131, wo angeführt wird: H. SULLY descr. abrégée d'une horloge, servant à la juste mesure du tems. Bourdeaux 1726. Aber um eben die Zeit hat auch MONDRAU einen gleichen Vorschlag gethan und Versuche über Frictionsrollen angestellt. Mém. de Paris. 1725. hist. p. 102.

hung der Räder A, B hervor und die an dem Umfange von C statt findende Reibung ist unbedeutend geworden. Dagegen aber leiden die Axen a, b jetzt eine eben solche Reibung, wie vorhin C. Es sey r der Halbmesser der Axen a, b, und R der Halbmesser der Scheiben A, B, so ist an a, welche die Last $\frac{1}{2}$ P trägt (um ein Geringes vermehrt durch das Gewicht der Scheibe A, welches wir bei Seite setzen), die Reibung $= \frac{1}{2}$ f.P, aber diese hat nur das Moment $= \frac{1}{2}$ r.f.P, und eine am Umfange von C oder A wirkende Kraft braucht nur $= \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{R}$ f. P. zu seyn, um sie zu überwinden. Da für B eben dieses statt findet, so ist die Reibung, die vorhin f. P war, nun auf $\frac{r}{R}$. f. P herabgesetzt, und diese Bestimmung ist nur insofern ungenau, als erstlich das Gewicht der Frictionsräder oder Frictionsrollen die Reibung um etwas vermehrt, und zweitens auch am Umfange von A und C oder B und C einige, wenn auch nur geringe Reibung statt findet. Diese Frictionsräder würden daher höchst vortheilhaft seyn, wenn nicht in manchen Fällen die hiernach mehr zusammengesetzte Maschine andere Unbequemlichkeiten mit sich brächte.

Die weitere Ausführung der Betrachtung der Friction bei Maschinen und in einzelnen Fällen muſs ich hier übergehn. Wie weit die praktische Mechanik es in der Polirung der Metalle und Verminderung der Reibung gebracht hat, davon führt Bessel ein merkwürdiges Beispiel an. An dem Apparate, dessen er sich zur Bestimmung der Pendellänge bediente, war ein solider Cylinder, der sich in einer Hülse von Glockenmetall drehte; jener füllte diese Hülse so aus, daſs der Cylinder keine Luft durchlieſs, wenn er in die unten geschlossene Hülse hineingesetzt wurde; er ruhte dann auf der durch sein Gewicht comprimirten Luft. Aber ungeachtet dieses luftdichten Schlieſsens war er doch so leicht beweglich, daſs er eine Axendrehung, die man ihm ertheilte, einige Minuten lang in der Hülse fortsetzte [1].

---

1 Bessel Unters. über die Länge des einfachen Secundenpendels. Berlin 1828. S. 7.

II. Wälzende Reibung.

Ueber den Grund der grofsen Verminderung der Reibung bei wälzender Reibung lassen sich theoretische Untersuchungen anstellen, die Euler weiter, als es hier geschehn kann, verfolgt hat; die Grundlage der hierher gehörigen Betrachtungen ist folgende [1].

Fig. 241. Es ruhe ein Körper mit ebener Grundfläche auf der horizontalen Ebene BD, G sey des Körpers Schwerpunct, GE die Verticallinie durch denselben, C der äufserste Punct der Grundfläche. Nennt man nun P das Gewicht des Körpers, f den Reibungscoefficienten, so ist f.P die Kraft, welche nach der Richtung GA wirken mufs, um den Körper nach dieser Richtung fortzuziehn. Aber wenn die Entfernung EC nur klein ist, so kann offenbar schon eine geringere Kraft den Körper zum Umstürzen bringen, indem eine nach GA wirkende Kraft $= Q$ eine Drehung um C zu bewirken strebt, welcher das Gewicht P des Körpers entgegen wirkt. Das bei der Drehung um C in Betrachtung kommende Moment der Kraft Q ist $= Q.GE$ und das Moment der Kraft P ist $= P.EC$, so dafs der Körper eine Drehung um C erhält, sobald $(Q.GE - P.EC)$ einen positiven Werth hat. Ist also EC so grofs, dafs selbst für $Q = f.P$ noch nicht $Q.GE$ gröfser als $P.EC$ ist, oder ist $EC > f.EG$, so kommt der Körper gar nicht zum Umstürzen oder nimmt gar keine Wälzung an, sondern läfst sich auf der horizontalen Ebene fortziehn, ohne seine Stellung auf derselben zu ändern; ist dagegen $EC < f.EG$, so bedarf es einer desto geringern Kraft $Q = \frac{P.EC}{EG}$, um die Wälzung hervorzubringen, je kleiner $\frac{EC}{EG}$ ist. Hieraus würde folgen, dafs ein cylindrischer Körper oder eine Kugel mit einer unendlich kleinen Kraft fortgewälzt werden könnte, also der durch die Reibung der wälzenden Bewegung entgegengesetzte Widerstand unendlich klein wäre, weil bekanntlich die Berührung der Kugel mit der Ebene nur in einem einzigen Puncte und des Cylinders nur in jedem Querschnitte

---

1 Comment. Acad. Petrop. XIII. p. 220. 197. Novi Comm. acad. Petrop. VI. p. 233.

in *einem* Puncte statt findet, also $EC = 0$ ist; aber es ist offenbar, daſs im physischen Sinne die Berührung sich nicht auf einen geometrischen Punct beschränkt, wohl aber sehr klein ist. Wären also die Rauhheiten der Ebene so bedeutend, daſs EC einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad ausmachte, und $EGC = 30'$, so würde die wälzende Reibung $= 0{,}009$ seyn, statt daſs die gleitende Reibung den fünften oder dritten Theil der Last oder sogar mehr betragen könnte.

Auf ähnliche Art läſst sich die wälzende Reibung auf der geneigten Ebene betrachten. Es sey $ABD = \alpha$ der Neigungswinkel der Ebene, auf welcher der Körper, dessen Schwerpunct in G ist, ruht. Aus dem Gewichte $= P$ des Körpers selbst entspringt hier eine Kraft $= P. \text{Sin.}\,\alpha$ nach der Richtung GU wirkend und der Körper wird, wenn er nicht umstürzt, fortgleitend seine Bewegung anfangen, wenn $\text{Sin.}\,\alpha > f. \text{Cos.}\,\alpha$ ist. Aber auch hier kann eine drehende Bewegung um C eintreten und die nach GU wirkende Kraft hat in Beziehung auf diese das Moment $= P. GE. \text{Sin.}\,\alpha$, wogegen das Gewicht des Körpers mit einer Kraft, deren Moment $= P. EC. \text{Cos.}\,\alpha$ ist, entgegenwirkt. Die Wälzung tritt also ein, wenn $GE. \text{Sin.}\,\alpha - EC. \text{Cos.}\,\alpha$ positiv ist oder, wenn $EGC = \beta$ heiſst, wenn $\alpha > \beta$ ist. Indeſs wenn die Reibung des Fortgleitens $= f. P. \text{Cos.}\,\alpha$ so gering ist, daſs $\text{Sin.}\,\alpha$ noch $< \frac{EC}{GE} \text{Cos.}\,\alpha$ bleibt, wenn schon $\text{Sin.}\,\alpha > f. \text{Cos.}\,\alpha$ ist, oder wenn $f < \text{Tang.}\,\beta$ ist, so wird der Körper eher fortgleitend vorrücken, als zum Umstürzen kommen.

Fig. 242.

Wenn EC sehr klein oder eigentlich wenn β sehr klein ist, so kommt also der Körper bei der geringsten Neigung der Ebene schon zum Wälzen, wie wir dieses bei Kugeln und andern runden Körpern sehn. Ist β gröſser, so kann der Körper fortgleitend auf der Ebene herabgehn, wenn $\text{Tang.}\,\alpha = f$ einen kleinern Werth für α giebt, als $\alpha = \beta$, so lange nämlich dann $\text{Tang.}\,\alpha$ zwischen dem kleinern f und dem gröſsern $\text{Tang.}\,\beta$ bleibt; aber wenn $\alpha > \beta$ wird, so stürzt auch dann der Körper um. Wenn man die Berührung der Kugel als wirklich in einem unendlich kleinen Puncte statt findend annimmt, das heiſst, wenn man die Kugel und Ebene als vollkommen hart und von allen Ungleichheiten frei, dennoch aber als eine Reibung zulassend, ansieht, so wird der Wider-

stand, den die wälzende Reibung auf einer horizontalen Ebene leistet, = 0 und eine den Schwerpunct der Kugel parallel mit der horizontalen Ebene forttreibende Kraft setzt die Kugel in eine wälzende Bewegung, bei welcher sehr bald die Geschwindigkeit des berührenden Puncts = 0 wird, oder die drehende Bewegung des untern Puncts rückwärts genau so schnell, als die Fortrückung des Schwerpuncts vorwärts ist. Diese Bewegung nennt EULER *vollkommene Wälzung* (*provolutio perfecta*). Diese würde unter den angegebenen Umständen, sobald sie einmal eingetreten ist, mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortgehn, weil die allerdings statt findende Reibung, welche die Wälzung bewirkt, hier ohne Widerstand überwunden würde. Diese theoretische Folgerung ist gewiſs richtig, obgleich die Erfahrung keinen Fall, wo die Berührung der Kugel in einem geometrischen Puncte statt findet, darbietet. Hätte man der Kugel eine andre Rotationsbewegung ertheilt, so daſs die Geschwindigkeit des untern Puncts nicht = 0 wäre, so würde die gleitende Reibung eintreten und diese würde die Rotationsgeschwindigkeit nach und nach zu jener der vollkommenen Wälzung entsprechenden zurückführen.

Ist die von der Kugel in einem einzigen Puncte berührte Ebene geneigt, so fängt durch das eigene Gewicht der Kugel die Wälzung an, und EULER glaubte aus der Betrachtung der hier wirkenden Kräfte schlieſsen zu können, daſs die fortschreitende Bewegung in diesem Falle stets gröſser als die wälzende seyn müsse und daſs also die *vollkommene Wälzung*, wobei der anliegende Punct ebenso schnell rückwärts gedreht wird, als der Mittelpunct fortschreitet, hier nie statt finde. DAN. BERNOULLI hatte das Gegentheil behauptet und dieses schien mit Experimenten, die KRAFFT anstellte, übereinzustimmen. EULER corrigirt daher seine vorige Betrachtung auf folgende Weise. Die beständig wirkende beschleunigende Kraft, welche die Kugel mit der Ebene parallel herabtreibt, bringt allerdings ein Bestreben hervor, dem auf der Ebene anliegenden Puncte, statt der Geschwindigkeit = 0, wie sie bei der vollkommenen Wälzung statt findet, eine gröſsere fortrückende Bewegung zu ertheilen; aber dieses Bestreben wird bei nicht zu groſser Neigung der Ebene gegen den Horizont sogleich durch die Reibung, welche dem Fortgleiten sehr be-

deutend entgegenwirkt, unterdrückt. Wenn der Neigungswinkel der Ebene größer genommen wird, so daſs auch die gleitende Reibung nicht mehr zureichend ist, um die Zunahme der Bewegung zu hemmen, so entsteht eine *gemischte Wälzungsbewegung* (*provolutio mixta*), wo nämlich der Wälzungsbogen kleiner als der vom Mittelpuncte zurückgelegte Weg ist, also der untere Punct eine vorwärts gleitende Bewegung in Verbindung mit der wälzenden Bewegung erlangt hat.

Krafft hat Experimente über dieses Herabwälzen eines Cylinders auf einer geneigten Ebene angestellt. Er fand, daſs eine genau 22 Zoll im Umfange haltende Scheibe von Tannenholz für 21° Neigung, so gut wie für 3° Neigung, noch genau der vollkommenen Wälzung gemäſs herabrollte. Krafft berechnet, daſs in diesem Falle, wo die gleitende Reibung etwas mehr als $\frac{1}{4}$ betrug, die Abweichung von der vollkommenen Wälzung erst bei 50° Neigung ziemlich merklich werden könnte. Bei verticaler Stellung der Ebene hört offenbar die Wälzung ganz auf.

Vince stellt diese Betrachtung so an. Wenn ein runder Körper, ein Cylinder oder eine Kugel, auf der geneigten Ebene herabrollt, so wird der Punct s, welcher dem untersten Puncte a als Mittelpunct des Schwunges correspondirt, nicht durch die in a wirkende Reibung in seiner Bewegung gestört, indem eine in a auf den Radius ar senkrecht wirkende Kraft eine Drehung um den Mittelpunct des Schwunges s bewirkt. Hat dann der Körper eine rollende Bewegung, so kann im Allgemeinen der Durchmesser sra nach einem geringen Zeitraume die Lage s′r′a′ angenommen haben, und der Mittelpunct ist durch die Reibung um ss′ — rr′ zurückgehalten worden, statt daſs rr — aa′ die Zunahme der Rotation angiebt (der die Ebene berührende Punct ist nämlich um rr′ auf der Ebene, dagegen nur um rr′ — aa′ auf der Kugel fortgerückt). Man hat daher die Retardirung des Mittelpuncts vermöge der Reibung zu der Accelerirung der Rotationsbewegung, wie rs zu ra, und könnte daher aus der beobachteten Bewegung des Mittelpuncts die Drehungsbewegung herleiten. Wenn die vollkommene Wälzung statt findet, so ist aa′ = 0 und man hat dann den vom Mittelpuncte r durchlaufenen Raum v d t zu dem vom Schwingungspuncte s durchlaufenen, der = 2 g t d t Sin. *u*

Fig. 243.

ist, wenn die Dauer der Bewegung = t war, wie ar zu as, so dafs $v = \frac{ar}{as} . 2gt \text{ Sin. } \alpha$ dann bestimmt ist. Für die Kugel ist, wenn man sich a als Drehungs-Axe denkt, $as = \frac{7}{5}.ar$, also in dem letzten Falle $v = \frac{5}{7}.2gt \text{ Sin. } \alpha$, und bei vollkommener Wälzung sollte für das Fallen auf der geneigten Ebene der Weg $= \frac{5}{7}.gt^2 \text{ Sin. } \alpha$ seyn, statt dafs er ohne Reibung $= gt^2 \text{ Sin. } \alpha$ wäre. So hinge also die Zeit, in welcher ein gewisser Raum auf der geneigten Ebene mit vollkommener Wälzung durchlaufen wird, nicht von der Gröfse der Reibung ab, und dieses offenbar aus dem Grunde, weil wir annehmen, dafs die Reibung in diesem Falle durch eine unendlich kleine Kraft überwunden wird. In dem wirklichen Falle, wo die Berührung der Kugel sich nicht streng auf einen geometrischen Punct beschränkt, müfste es offenbar etwas anders seyn.

Wollte man über die wälzende Bewegung auch nur auf der horizontalen Ebene vollkommene Untersuchungen anstellen, so würden diese sehr schwierig werden. Die leichtesten Fälle sind die, wo die Wälzungs-Axe der Kugel mit der Ebene parallel und auf die Richtung der Bewegung senkrecht ist. Hier finden drei Fälle statt, indem 1) die Wälzung vollkommen seyn kann oder der Punct A durch die Rotation so viel zurückgeht, als der Mittelpunct R vorwärts; dann ist die Geschwindigkeit des in irgend einem Augenblicke die Ebene berührenden Puncts = 0. 2) Wenn A eine schnellere drehende Bewegung rückwärts hat, als der Mittelpunct vorwärts. In diesem Falle nimmt die Drehungsbewegung nach und nach ab und die Bewegung geht ziemlich bald in die vollkommene wälzende über; ehe dieses eintritt, wird die Bewegung des Mittelpuncts durch die Reibung schneller gemacht. 3) Wenn dem runden Körper eine solche Wälzung ertheilt ist, dafs der Punct A nach der Richtung PAB rotirt, während der Mittelpunct parallel mit AF nach F zu fortgeht. Hier wird die rotirende Bewegung vermindert und geht in gewissen Fällen in die entgegengesetzte über, aber es kann sich auch ereignen, dafs der nach AF fortrückende Körper umkehrt und die entgegengesetzte Richtung verfolgt, wie man dieses an einer Billardkugel sehn kann, der man durch einen angemessenen Stofs nach der Richtung NP eine solche Bewegung ertheilt. EULER

Fig. 244.

hat diese Fälle in den oben erwähnten Abhandlungen betrachtet, da aber VINCE eine einfachere Darstellung giebt, so will ich diese hier mittheilen.

Aus der in der 243sten Figur dargestellten Wälzung erhellt, dafs da, wo keine vollkommene Wälzung statt findet, die Wälzung nach der Richtung a l beschleunigt und zugleich das Fortschreiten des Mittelpuncts aufgehalten wird; erst wenn die vollkommene Wälzung statt findet, ist die Rotationsgeschwindigkeit des Puncts a so grofs, als die fortrückende Geschwindigkeit des Mittelpuncts. Fängt also auf der horizontalen Ebene die Bewegung ohne alle Rotation an mit der Geschwindigkeit $= v'$, und ist v zu irgend einer andern Zeit $= t$ die Geschwindigkeit des Mittelpuncts, so ist, weil die Reibung als eine constante Kraft wirkt, $v = v' - 2gft$, wenn f der Reibungscoefficient ist und g den Fallraum in 1 Sec. darstellt; und wenn wir mit s den durchlaufenen Raum bezeichnen, so haben wir $s = v't - gft^2 = \frac{v'^2 - v^2}{4gf}$ oder $v = \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}$. Während aber der Mittelpunct die Geschwindigkeit $v' - v = v' - \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}$ verliert, nimmt die Rotationsgeschwindigkeit um $\frac{ra}{rs}(v' - v)$ zu, wenn s in der Figur der Mittelpunct der Schwingung um a ist, und dieses dauert fort, bis die Rotationsgeschwindigkeit

$$= v = \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}$$

geworden ist. Setze ich hier sogleich $\frac{ra}{rs} = \frac{5}{2}$ für die Kugel, so dauert die Aenderung der Rotationsbewegung bis $v = \frac{5}{2}(v' - v)$ oder $v = \frac{5}{7}v'$ ist, oder bis

$$\sqrt{(v'^2 - 4gfs)} = \frac{5}{2}v' - \frac{5}{2}\sqrt{(v'^2 - 4gfs)},$$

das ist, wenn $4gfs = \frac{24}{49}v'^2$. Durch diesen Raum $= s$ also geht die ohne anfängliche Rotation in Bewegung gesetzte Kugel mit zunehmender Rotationsbewegung fort und dann erst gelangt sie zu dem dauernden Zustande der volkommenen Wälzung.

Fand schon anfangs eine Rotationsgeschwindigkeit $= u'$ in der Richtung statt, wie die Reibung sie hervorzubringen strebt, so geben dieselben Betrachtungen,

dafs $u' + \frac{5}{2}[v' - \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}] = \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}$ werden mufs, wenn die vollkommene Wälzung eintritt; also

$$u' + \frac{2}{5} v' = \frac{7}{5} v; \quad v = \frac{2u' + 5v'}{7};$$

oder $4gfs = v'^2 - \frac{(2u' + 5v')^2}{49} = \frac{24v'^2 - 20u'v' - 4u'^2}{49}$.
Wäre sogleich $v' = u'$, so würde $s = 0$, weil die vollkommene Wälzung schon sogleich statt findet. Wäre $u' > v'$, also die Wälzung etwa durch einen nach der Richtung LM wirkenden Stofs mehr beschleunigt, als der vollkommenen Wälzung gemäfs ist, so wird $v = \frac{2u' + 5v'}{7}$ gröfser als v' und die Reibung bringt durch Verminderung der Rotationsgeschwindigkeit eine vermehrte Bewegung des Mittelpuncts hervor. Um den Raum $= s$ zu bestimmen, wo die gleichförmig wälzende Bewegung eintritt, mufs man bedenken, dafs nun die Reibung die entgegengesetzte Richtung hat und daher das Zeichen entgegengesetzt zu nehmen ist.

Der merkwürdigste Fall ist, wenn u' negativ ist oder der Kugel anfangs, wie es durch einen Stofs nach der Richtung NP geschehn könnte, eine Drehung ertheilt wurde, die der durch die Friction bewirkten entgegengesetzt ist. Hier ist u' negativ und die vollkommene Wälzung tritt ein, wenn $v = \frac{5v' - 2u'}{7}$ ist, und diese Geschwindigkeit kann negativ seyn, wenn $2u' > 5v'$ ist. In diesem Falle nämlich ist die fortrückende Geschwindigkeit $= 0$ geworden, ehe die drehende Geschwindigkeit ganz aufhört, und die Wälzung führt daher die Kugel zurück. Der bis dahin, wo $v = 0$ wird, durchlaufene Weg ist $= \frac{v'^2}{4gf} = s'$ und die alsdann noch übrige Rotationsgeschwindigkeit ist $= - u' + \frac{5}{2} v'$. Sie führt also die Kugel wälzend rückwärts, wenn $u' > \frac{5}{2} v'$ war. Für diesen Fall ist die wälzende Geschwindigkeit $= u' - \frac{5}{2} v'$ in dem Augenblicke, da die fortschreitende Bewegung aufhört, so beschaffen, dafs B nach MPA hin fortrückt, und es tritt nun eine Wälzung rückwärts ein, welche die Kugel nach AE hin führt. Diese geht etwas später in die vollkommene Wälzung über[1]. Wenn $u' < \frac{5}{2} v'$ gewesen wäre, so würde

1 Vince Phil. Transact. 1785. 181. Mehrere hier angegebene Um-

v nicht = 0, sondern die gleichförmige, vollkommene Wälzung ist schon erreicht, während der Körper nach gleicher Richtung gegen F zu fortgeht, diese Wälzung aber ist dann in die entgegengesetzte übergegangen. Wollte man andere Bewegungen der Kugel auf der horizontalen Ebene voraussetzen, z. B. eine Rotationsbewegung um eine gegen die Ebene senkrechte Axe, so würde es weit schwieriger seyn, die dann in jedem Augenblicke sich ändernde Axe der Umdrehung zu bestimmen; aber eine durchgeführte Betrachtung würde auch manche auffallende Erfolge beim Billardspielen erklären.

Coulomb hat Versuche über die wälzende Reibung angestellt und sie für Walzen von Guajakholz, auf Eichenholz fortgewälzt, dem Drucke proportional und ungefähr = 0,006 des Drucks bei einer Walze von 6 Zoll Durchmesser und = 0,018 des Drucks bei 2 Zoll Durchmesser gefunden. Auch die Erfahrung zeigt also, dafs die wälzende Reibung dem Durchmesser umgekehrt proportional ist, so wie es die Theorie fordert.

Als ein aus ganz gewöhnlichen Anwendungen hergenommenes Beispiel von den Vortheilen, welche die wälzende Reibung gewährt, führt Babbage Folgendes an[1]. Ein oberflächlich eben gemeifselter Steinblock von 1080 Pfund ward auf der Felsfläche am Steinbruche fortgeschleppt mit 758 Pfd. Kraft; man legte ihn dann auf einen Schlitten von Bretern und zog diesen auf einem hölzernen Boden fort mit 606 Pfund Kraft (Reibungscoefficient = 0,56); darauf bestrich man beide Holzflächen mit Seife und bedurfte nun nur einer Kraft von 182 Pfund (Reibung = 0,17); endlich legte man den Steinblock auf Walzen von 3 Zoll Durchmesser und er ward auf der Breterfläche mit 28 Pfund Kraft fortgezogen (wälzende Reibung = 0,026).

Die wälzende Reibung ist der eine Theil des Widerstands, den wir bei unserm Fuhrwerke zu überwinden haben, und da diese wälzende Reibung im umgekehrten Verhältnisse

---

stände findet Euler, obgleich er von andern Principien ausgeht, ebenso. Comm. Acad. Petrop. XIII. 247. 252.

1 Ueber Maschinen u. Fabrikenwesen. (übers. v. Friedenberg. Berlin 1833.) S. 13.

des Halbmessers der Räder steht, so sind höhere Räder, wenn sie nicht in andrer Hinsicht Unbequemlichkeiten herbeiführen, vortheilhaft. Der zweite Theil der bei unserm Fuhrwerke zu überwindenden Reibung ist die Reibung an der Axe der Räder, und da auch diese desto leichter überwunden wird, je gröſser die Räder sind in Vergleichung gegen die Dicke der Axen, so sind die höhern Räder in allen Rücksichten zur Ueberwindung der Reibung vortheilhaft. Daſs sie dem Fuhrwerke zugleich etwas mehr Schwankendes geben und die Gefahr des Umwerfens vermehren, ist eine nicht hierher gehörende Betrachtung. Um die Gröſse des gesammten Widerstands bei den gewöhnlichen Wagen zu beurtheilen, giebt BABBAGE Folgendes an. Die zum Ziehen eines 2350 Pfund schweren Wagens nöthige Kraft ist = 33 Pfund (also 0,014) auf vollkommen gut gepflasterten Straſsen, wogegen auf Chausseen die nöthige Kraft doppelt so groſs und, wenn sie mit neuen Kieseln beschüttet sind, 4½ mal so groſs ist. Nach von GERSTNER muſs man 40 bis 120 Pfund Kraft auf 1000 Pfund Gewicht zum Ziehen des Wagens auf Chausseen rechnen; auf Eisenbahnen dagegen nur 6 Pfund auf 1000 Pfund Belastung[1].

III. Reibung der Seile.

Eine besondere Betrachtung verdient noch die Reibung eines Seils, das um einen unbeweglichen Cylinder gewickelt ist. Um die Betrachtung zu erleichtern, fange ich damit an, statt des Cylinders einen prismatischen Körper HKLMN anzunehmen, um dessen Seiten HK, KL, LM, MN das Seil gelegt ist, welches am Ende bei G das Gewicht = P trägt. Das Seil leidet an der Oberfläche eine Reibung, die aus dem in irgend einem Puncte gegen die Axe gerichteten Drucke = Q durch fQ bestimmt wird, wenn f, ebenso wie bisher, der Reibungscoefficient ist. Nehmen wir nun an, das Seil müſste in der Richtung LM mit der Kraft = T gehalten werden, so wird diese Kraft in $T + \Delta T$ übergehn, wenn das Seil auch noch über die Seite MN fortgeht, und

Fig. 245.

1 v. GERSTNER Handb. d. Mechan. I. 596. 617. Vergl. *Rad*, Wagenrad.

offenbar ist die Spannung des Seils von M nach L $= T$, von M nach N $= T + \Delta T$. Es sey der zwischen den Senkrechten CR, CS liegende Centriwinkel $= \Delta \varphi$, so ist der aus jenen Spannungen entstehende Druck gegen den Mittelpunct $= 2T . \text{Sin.} \frac{1}{2} \Delta \varphi + \Delta T . \text{Sin.} \frac{1}{2} \Delta \varphi$, wenn das Polygon gleichseitig ist, und die entstehende Reibung $= (2fT + f\Delta T) \text{Sin.} \frac{1}{2} \Delta \varphi$, und diese ist offenbar $= \Delta T$, da die auf MN nöthig gewordene gröſsere Spannung nur daraus, daſs die Reibung noch überwunden werden muſs, hervorgeht. Hieraus würde für jeden prismatischen Körper T gefunden; aber für den Cylinder ist offenbar $dT = fT d\varphi$ und folglich, wenn e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen bedeutet, $T = P . e^{f\varphi}$, wo die constante Gröſse schon so bestimmt ist, daſs für $\varphi = 0$, $T = P$ wird.

Diese Formel zeigt, wie sehr die Kraft, welche das Gewicht heraufziehn soll, wachsen muſs. Es sey $f = \frac{1}{4}$, also die Reibung nur ein Viertel des Drucks, so würde für ein Seil, das um 57° 18′ des Cylinders gewickelt wäre,

$$T = P . \sqrt[4]{e} = 1{,}2840 \; P,$$
$$\text{für } \varphi = 90° = 1{,}5708; \; T = P . 1{,}4810,$$
$$\text{für } \varphi = 180° = 3{,}1416; \; T = P . 2{,}0615,$$
$$\text{für } \varphi = 360° \qquad T = P . 4{,}8105,$$
$$\text{für } \varphi = 540° \qquad T = P . 10{,}551,$$
$$\text{für } \varphi = 720° \qquad T = P . 23{,}141.$$

Will man also eine Last von 100 Pfunden heben, so braucht man bei einer ganzen Umwickelung 481 Pfund, bei zwei ganzen Umwickelungen 2314 Pfund, bei drei ganzen Umwickelungen 11131 Pfund. Ein sehr geringes Gewicht $= P$ hält also nach einigen Umwickelungen des Seils einer überaus groſsen ziehenden Kraft das Gleichgewicht, ein einziges Pfund $= P$ bei sechs Umwickelungen einer Kraft $T = 12300$ Pfund.

Wenn der Cylinder um seine Axe C beweglich ist, so bedarf es einer viel geringern Kraft, indem dann das nach der Richtung MT gezogne Seil den Cylinder dreht und nicht über der Oberfläche desselben fortgezogen zu werden braucht. Der dann noch übrig bleibende Widerstand ist fast allein der Steifheit des Seils, sofern nämlich die in eine neue Krümmung gezwungenen Theile einen Widerstand leisten, zuzu-

schreiben. Wenn indeſs der Cylinder sich nicht ganz frei dreht, so kann ein Theil des vorhin betrachteten Widerstands der Reibung übrig bleiben, und theils davon, theils von der Reibung an den Axen der Rollen hängt der groſse Widerstand ab, den man bei Flaschenzügen findet. Wie groſs dieser ist, erhellt aus Versuchen, unter denen ich nur einen von von Gerstner angestellten anführen will[1]. Es wurde ein Flaschenzug von zwei Rollen oben und zwei Rollen unten, der durch öftern Gebrauch und gehöriges Einschmieren gut vorbereitet war, angewandt. Die beiden gröſsern Rollen hatten 23 Lin. Halbmesser, die beiden kleinern 18,5 Lin., die Axe 3,5 Lin. An dem untern Rollenzuge hingen 50 Pfund, aber da dieser selbst 10 Pfund wog und das Gewicht der 4 Seile 12 Pfund betrug, so war eine Last von 72 Pfund zu heben. Man brachte nun am fünften Seile Gewichte an, bis eine gleichförmige Bewegung erfolgte, und fand hierzu 25 Pfund nöthig. Um aber auch den umgekehrten Versuch zu machen, verminderte man dieses Zuggewicht so lange, bis die Last von 72 Pfund gleichförmig sank, und fand jenes Zuggewicht alsdann = 9 Pfund. Da ohne Reibung das Zuggewicht 18 Pfund hätte seyn müssen, so läſst sich hieraus die Reibung beurtheilen[2]. Weitere Anwendungen auf Maschinen kann ich hier nicht mittheilen.

B.

Reif.

Pruina; Givre, Gelée blanche, Frimas; *Hoarfrost, Rime.*

Der Reif ist dem Wesen mach nichts anderes, als ein feiner gefrorner Thau; der Process seiner Bildung fällt also mit dem des Thauens zusammen, und da das letztere Phänomen bei weitem am meisten untersucht worden ist, so verspare ich alle theoretischen Untersuchungen bis auf diesen Artikel und theile hier bloſs die wichtigsten Thatsachen mit.

Von der einen Seite grenzt der Reif an das Glatteis, indem beide einen gefrornen Ueberzug über die verschiedensten

1 Handb. d. Mechanik. I. 512.

2 Vergl. Coulomb in der oben angeführten Abh. S. 323.

Gegenstände bilden, unterscheidet sich jedoch von diesem dadurch, daſs er keine glatte Decke bildet[1], sondern aus lauter sehr feinen Eiskrystallen besteht, die mitunter fest, zuweilen aber nur sehr locker an den Gegenständen hängen; seine Verwandtschaft mit dem Thaue wird aber dadurch beurkundet, daſs diejenigen Körper, welche am stärksten bethaut werden, die gröſste Menge Reif aufzunehmen pflegen, auch sind heitere und windstille Nächte bei ruhiger Luft und klarem Himmel für beide Niederschläge am meisten geeignet. Scheuchzer[2] hielt bereits den Reif für nichts anderes, als gefrornen Thau, noch mehr aber wird diese Ansicht durch die Beobachtungen Wilson's[3] unterstützt, wonach Sand und sonstige Substanzen, selbst auch der Schnee bei heiterem Himmel mehrere Grade kälter sind, als die Luft, und daſs dieses nicht nach der Ansicht von Black eine Folge der Verdunstung seyn kann, weil dann vielmehr die Feuchtigkeit von auſsen aufgenommen wird. Bei bewölktem Himmel fand er eben diese Gegenstände wärmer, so daſs sie dann vielmehr die auf ihnen befindliche Feuchtigkeit zum Verdunsten brachten. Hiermit übereinstimmend giebt Brisson[4] an, daſs diese Art von Reif dann entsteht, wenn die Luft über 0° C. warm, die Erdoberfläche aber und die mit ihr verbundenen Gegenstände unter diesen Punct erkaltet sind. Allerdings ist es richtig, daſs die Bildung des Reifs nicht selten dann statt findet, wenn die Luft nicht bis zum Gefrierpuncte erkaltet ist, dennoch aber kann dieses nicht als allgemeine Regel gelten, vielmehr findet dieses Phänomen auch dann nicht selten statt, wenn sowohl die Luft als auch die Erdoberfläche unter diese Temperatur erkaltet sind, wobei die der letztern immerhin die niedrigste seyn mag.

Auſser diesem Reife, welchen die Franzosen *Gelée blanche,* die Engländer *Rime* nennen, giebt es noch eine andre Art, die in einigen Gegenden des nördlichen Deutschlands durch *Rauhreif* oder *Rauhfrost* (*Givre, Frimas; Hoar-Frost*)

---

1 Vergl. Art. *Glatteis*. Bd. IV. S. 1601.

2 Naturgeschichte des Schweitzerlandes. Th. III. S. 20.

3 Edinb. Phil. Trans. T. I. p. 146. Daraus in Bibl. Brit. T. VI. p. 305.

4 Dict. rais. de Phys. Art. gelée blanche.

bezeichnet wird und gleichfalls aus kleinen Eiskrystallen besteht, womit insbesondere alle einzeln hervorragende dünne Körper, namentlich Pflanzenstengel und kleine Baumäste, bis zu bedeutender Dicke überzogen sind. GEHLER leitet die Entstehung dieser eigenthümlichen Art von den feinen Eistheilchen ab, die man zuweilen bei sehr starker Kälte und heiterem Himmel als glänzende Blättchen in der Luft schwebend wahrnimmt und die sich allerdings, wenn sie in bedeutender Menge gebildet werden, auf einzelnen hervorragenden Gegenständen bis zu bedeutenden Höhen auflagern, allein diese bilden im Kleinen den *Staubschnee*, welcher in hoch nördlichen Gegenden in sehr großser Menge herabzufallen pflegt. Weit richtiger beschreibt KÄMTZ[1] dieses Phänomen. Wenn nämlich auf länger dauernde Kälte wärmere Luftschichten herbeigeführt werden, so schlägt sich der Wasserdampf derselben mit Leichtigkeit auf allen Körpern nieder und bildet, wenn namentlich einige Spinnenfäden einen Anhaltpunct darbieten, die mit feinen Krystallen überzognen Fäden, die wir dann von den Aestchen der Bäume und sonst auch in Menge herabhängen sehen. Am häufigsten erinnere ich mich noch lebhaft, dieses beschwerliche Phänomen in frühester Kindheit im kalten Winter 1788 beobachtet zu haben, als die die Bildung dieses Reifs begünstigende Luft selbst in die verschlossenen Gemächer der Wohnungen eindrang und alle Gegenstände mit Eiskrystallen dieser Art überzog, obgleich die Temperatur in solchen Räumen Monate lang den Gefrierpunct nicht erreichte. Diese Art Reif entsteht allerdings auch bei hellen Nächten, aber sehr häufig zugleich bei vorhandenen dünnern oder dickern Nebeln, und es werden dann die blendend weifsen Ueberzüge gebildet, welche bartartig auf den Seilen der Schiffe vorhanden sind, wenn der Wind die Nebeltheilchen ihnen von allen Seiten zuführt[2]. Zu dieser Art von Reif gehört auch die Anhäufung von feinen Krystallen, womit in massiven Häusern bei wiederkehrender Wärme nach anhaltender starker Kälte die Wände oft bis zu bedeutender Dicke überzogen werden; weniger möchte ich denjenigen Ueberzug dazu rechnen, welcher sich dann auf den äufsern

---

1 Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1833. Th. I. S. 363.

2 SCORESBY Reise auf den Wallfischfang. Ueb. von KRIES. S. 92.

Flächen der Mauern anlegt, indem dieser meistens eine glattere Oberfläche zu haben pflegt und daher eigentlicher dem Glatteise beizuzählen seyn dürfte. Eine gleiche Bewandtniſs hat es mit dem eisigen Ueberzuge, welcher an den äuſsern Wandungen derjenigen Gläser gebildet wird, die mit kaltmachenden Mischungen erfüllt sind, und den namentlich Nollet[1] zu diese Classe zählt; allein da die krystallinische Form das eigentliche Wesen des Reifs ausmacht, so kann dieses nicht ohne Einschränkung geschehn. Ist nämlich die umgebende Luft sehr feucht und die im Glase erzeugte Kälte nicht sehr stark, so werden die äuſsern Wände mit einer groſsen Menge Feuchtigkeit bedeckt, die allmälig zu einer eigentlichen, mitunter glatten, Eisrinde gefriert, unter andern Bedingungen besteht indeſs der Ueberzug aus ganz eigentlichen kleinen Krystallen. Vorzüglich schön und von sehr blendender Weiſse zeigen sich diese namentlich, wenn man ein Haarröhrchen in ein Gläschen mit Schwefelkohlenstoff senkt, so daſs diese Flüssigkeit bis an das Ende des Röhrchens steigt, wo sie durch Verdunstung eine solche Kälte erzeugt, daſs eine Menge Reif sich bartartig daselbst ansetzt.

Nach den bisherigen Betrachtungen unterscheidet sich also der Reif von den übrigen Eisbildungen dadurch, daſs er aus lauter kleinen, auf den Körpern festsitzenden Krystallen besteht, die aus feinen Wassertheilchen auf jenen gebildet, nicht aber, wie der Schnee, in der Atmosphäre erzeugt und von da herabgefallen sind. Betrachtet man beide Arten von Krystallen, die im Reif und die im Schnee vorkommenden, genauer, so zeigt sich die vollkommenste Uebereinstimmung beider, wonach man nicht bloſs auf gleiche Bestandtheile, sondern auch auf einen gleichartigen Ursprung zu schlieſsen berechtigt ist. Beide entstehn auch wirklich, indem der in der Luft befindliche Wasserdampf ausgeschieden wird und in kleinen Quantitäten allmälig vergröſserte Krystalle bildet, der Schnee in der unter 0° C. erkalteten Luft, der Reif an Körpern, deren Temperatur gleichfalls unter diesen Punct herabgegangen ist, und auf gleiche Weise sind die Krystalle beider um so viel feiner und also auch nach optischen Gesetzen ihre Anhäufungen von um so viel mehr blendender

1 Leçons de Phys. T. III. p. 362.

Weiſse, je geringer die Quantität des in der Luft vorhandenen Dampfs und je tiefer die Temperatur ist, wodurch die Bildung höchst feiner Krystalle bedingt wird. Diesemnach zeigt sich der Staubschnee und der feine Reif, welcher in kalten Wintern bei heiterer Atmosphäre gebildet wird, von schönster Weiſse, beide aber erscheinen mehr grau, wenn der Schnee aus dicken Wolken in groſsen Flocken herabfällt, der Reif aber bei vorhandenem Nebel entsteht.

Auch die bekannte Eisbildung an den Fensterscheiben[1] ist eine der Entstehung des Reifs analoge Erscheinung, desgleichen die weiſsen Bedeckungen mit feinen Eiskrystallen, die sich auf den Flächen metallischer Körper anhäufen, welche, aus wärmern Räumen durch Wände durchgehend, mit dem andern Ende dem Einflusse einer starken Kälte ausgesetzt sind. Auſserdem hat man Gelegenheit, die Bildung des Reifs aus der warmen und feuchten Luft zu beobachten, die bei strenger Winterkälte, zuweilen selbst als eigentlicher feiner Nebel, aus Brunnen, Kellern und tiefen geräumigen Höhlen aufzusteigen pflegt.

M.

Rhodium.

Rhodium; Rhodium; *Rhodium.*

Von Wollaston 1804 im Platinerze entdeckt, worin es nur zu 1 bis 3 Procent enthalten ist.

Stahlgraues, hartes und sprödes Metall von 11,2 spec. Gewicht, nur im Knallgasgebläse schmelzbar.

Es hat 2 salzfähige Oxyde: das *Rhodiumoxydul* (52,2 Rhodium auf 8 Sauerstoff) entsteht als schwarzes Pulver bei kürzerem Glühen des fein vertheilten Rhodiums an der Luft. — Das *Rhodiumoxyd* (52,2 Rhodium auf 12 Sauerstoff) ist in *trocknem* Zustande ein schwarzes, im *gewässerten* ein braunes Pulver und bildet mit Säuren gelbe Salze, durch Eisen, Kupfer und Quecksilber, nicht durch Silber metallisch fällbar.

Das Einfach-Chlor-Rhodium ist grauroth, nur in starker Glühhitze zersetzbar, nicht in Wasser löslich; das *Fünfviertel-Chlor-Rhodium* ist ein blaſsrosenrothes, weder in

---

1 Vergl. *Eis.* Bd. III. S. 105.

Wasser noch in Salzsäure lösliches, Pulver; das *Anderthalb-Chlor-Rhodium* erscheint schwarzbraun, löst sich in Wasser mit rother Farbe und giebt mit Salmiak, mit Chlorkalium und mit Chlornatrium dunkelrothe, krystallinische Verbindungen. Das *Schwefelrhodium* ist bläulich weifs und schmelzbar.

G.

Ringkugel.

Armillarsphäre; *Sphaera armillaris;* Sphère armillaire; *armillary sphere;* ist eine Zusammensetzung aus Ringen, welche die wichtigsten Kreise der Himmelskugel darstellen. Der nächste Zweck dieser Zusammensetzung ist, von der gegenseitigen Lage der Axe der himmlischen Bewegungen, des Aequators, der Ekliptik und andrer Kreise eine richtige Vorstellung zu geben, so dafs durch die Ringkugel die Himmelskugel zum Theil ersetzt wird und diese nur den Vorzug hat, auch noch die Gestirne darzustellen, wogegen bei der Ringkugel die Lage dieser Kreise gegen die in ihrer Mitte angebrachte kleine Erdkugel etwas mehr versinnlicht wird.

Man stellt die Ringkugel ebenso, wie den Erd- oder Himmelsglobus, auf einem festen Horizonte A B auf, welcher den Meridian in zwei einander gegenüberliegenden Einschnitten A, B so aufnimmt, dafs er eine gegen den Horizont senkrechte Stellung hat und dafs, wenn er unten auf dem dort angebrachten Einschnitte aufliegt, sein Mittelpunct mit dem Centrum des Horizonts zusammenfällt. Indem nun dieser Meridian P D R M sich in den Einschnitten verschieben läfst, kann man jeden Punct in die höchste Stellung Z, die das Zenith vorstellt, bringen. In diesem Kreise sind die Pole P, R, als Endpuncte der Axe, um welche sich die beweglichen Theile der Ringkugel drehen lassen. Sie stellen die Pole der Himmelskugel vor, und man giebt daher, um die Ringkugel für irgend einen Ort richtig zu stellen, dem einen derselben die Höhe über dem Horizonte, welche der Polhöhe des Ortes gemäfs ist, und die Gradtheilungen auf dem Meridiane machen es leicht, diese richtige Stellung zu finden. Mit dieser Drehungsaxe verbunden und also innerhalb des Meridians beweglich sind die vier gröfsten Kreise,

Fig. 246.

welche den Aequator, die Ekliptik und die beiden Koluren vorstellen. In der Figur ist die Stellung so gewählt, daſs die Durchschnittspuncte der Ekliptik mit dem Aequator im Horizonte stehn, also auch der Kolur der Nachtgleichen den Horizont in eben dem Puncte schneidet, wogegen der Kolur der Solstitien mit dem Meridiane zusammentrifft und daher auch die gröſste Abweichung der Ekliptik vom Aequator im Meridiane steht. Die Ekliptik pflegt an der Ringkugel durch eine breitere Ringfläche, als einen erheblichern Theil der Kugeloberfläche darstellend, vorgestellt zu seyn, indem man so den ganzen Thierkreis und folglich den Theil des Himmels, wo der Mond und die Planeten stehn können, auf ihr abbilden kann. Bezeichnet man auf ihr den durch Länge und Breite gegebenen Ort des Monds oder eines Planeten, so kann man die diese Himmelskörper betreffenden Fragen hier so, wie an der künstlichen Himmelskugel, beantworten.

Mit diesen Kreisen, welche sich um die Weltaxe drehn lassen, ohne ihre gegenseitige Lage zu ändern, sind auch noch vier dem Aequator parallele Kreise verbunden, welche die beiden Wendekreise und die beiden Polarkreise vorstellen. Die erstern beiden sind um 23½° vom Aequator, die letztern beiden ebenso weit von den Polen entfernt und jene berühren daher die Ekliptik in den beiden Solstitialpuncten, diese dagegen gehn durch die Pole der Ekliptik.

Endlich ist auch um den Pol als Mittelpunct auf dem Meridiane noch ein Kreis, der Stundenring, befestigt, dessen Gebrauch derselbe wie bei der künstlichen Himmelskugel ist.

Um die Sonne darzustellen, pflegt man einen kleinen Körper anzubringen, der an einem um den Pol der Ekliptik bewegbaren Bügel befestigt ist, damit dieses Bild der Sonne an jeden Punct der Ekliptik, wo man es bei Auflösung einer bestimmten Aufgabe verlangt, gestellt werde. Ebenso bringt man ein Bild des Monds an; damit aber dieses die Mondbahn an dem hier dargestellten Theile des Himmels durchlaufe, muſs der Bügel, an dem es befestigt ist, seine Axe 5° vom Pole der Ekliptik entfernt haben und die Einrichtung muſs so gemacht seyn, daſs man diese Axe in die dem Pole der Mondbahn für einen bestimmten Zeitpunct entsprechende Lage bringen könne.

Die ältern Astronomen bedienten sich der Ringkugel zu wirklichen Beobachtungen. Eratosthenes soll sie zuerst in Gebrauch gebracht haben und Hipparchus und Ptolemaeus machten an derselben ihre Beobachtungen. Um das Instrument zu gebrauchen, stellte man mit möglichster Sorgfalt den Aequator mit der Ebene des Aequators am Himmel parallel oder brachte die Axe in Uebereinstimmung mit der Weltaxe; man stellte nun die Ekliptik mit dem Aequator so, wie es dem Augenblicke der Beobachtung gemäſs war, und richtete dann einen um die Pole der Ekliptik beweglichen Kreis, auf welchem Absehen, um nach einem Sterne zu visiren, angebracht waren, gegen diesen Stern zu. Der Punct, wo dieser Kreis in die Ekliptik einschnitt, gab die Länge des Sterns, der Abstandsbogen auf dem beweglichen Kreise gab seine Breite. Die Beobachtung läſst sich am besten anstellen, wenn man, etwa um die Stellung des Monds zu finden, den Ort der Sonne am Instrumente durch unmittelbares Visiren nach der Sonne in die richtige Stellung bringen konnte. Wollte man den Zeitpunct bestimmen, wo die Sonne sich im Aequinoctium befand, so stellte man das Instrument genau auf und beobachtete, wenn der Schatten der einen Hälfte des Aequators auf die andere fiel; fand dieses weder am gestrigen noch am heutigen Tage genau statt, sondern war die Sonne in der Nacht dazwischen durch die Nachtgleiche gegangen, so suchte man zwei Zeitpuncte zu erhalten, wo der Schatten das eine Mal nördlich, das andere Mal südlich gleich viel von der Richtung der Ebene des Aequators abwich, und konnte dann die in der Mitte zwischen jenen Beobachtungen liegende Zeit als Zeit der Nachtgleiche ansehn. Die Unvollkommenheit dieser Beobachtungen erhellt leicht, jedoch waren sie für jene Zeiten schon von groſsem Werthe. Tycho de Brahe führte zuerst genauere Hülfsmittel zur Beobachtung ein.

B.

Röhre.

Täuchel (bei Wasserleitungen); *Tubus;* Tube, Tugeau; *Tube, Pipe.*

Es scheint mir überflüssig, eine Definition von dem Worte

Röhre zu geben, da der Sprachgebrauch den Begriff einmal so fest gestellt hat, dafs niemand deswegen in Verlegenheit kommen kann, und auch selbst da wird letztere kaum eintreten, wo es schwerer zu bestimmen ist, ob man ein gegebenes Object einen hohlen Cylinder, einen Schlauch oder eine Röhre nennen soll. Von letztern beiden unterscheidet sich indefs die Röhre, insofern ein *hohler Cylinder* kürzer, ein *Schlauch* von kantiger Oeffnung, oder bei runder Oeffnung und sonstiger röhrenförmiger Gestalt biegsam zu seyn pflegt. Uebrigens unterscheidet man bei allen diesen genannten Objecten die *Länge*, die *Weite* und die *Dicke der Wandungen*; auch gelten bei ihnen insgesammt die nämlichen Gesetze, weswegen es unnöthig seyn würde, von den einzelnen besonders zu handeln, und es daher genügt, die Untersuchungen blofs auf die Röhren zu beziehen, die der Regel gemäfs von runder Bohrung angenommen werden. Der Durchschnitt der innern Höhlung heifst bei Röhren ihre Weite im Lichten (*lumen*), die man allezeit versteht, wenn von der Weite derselben überhaupt die Rede ist. Drückt man diese in irgend einem Längenmafse aus, so bezeichnet dieses den Durchmesser, und sie heifsen *Haarröhren*, wenn dieser kleiner ist, als 0,1 Zoll. Ferner wird in der Physik meistens ausschliefslich von *communicirenden* Röhren gehandelt; es scheint mir jedoch angemessener zu seyn, die Untersuchungen hier in gröfserer Allgemeinheit anzustellen. Hiernach darf angenommen werden, dafs die Röhren im Allgemeinen zur Aufnahme flüssiger Körper dienen, die dann in ihnen sich entweder im Zustande der Ruhe oder der Bewegung befinden. Selten dienen Röhren zur Aufnahme elastischer Flüssigkeiten für den Zustand der Ruhe, und wenn dieses der Fall ist, so werden die für alle sonstigen Gefäfse geltenden Regeln durch die eigenthümliche Beschaffenheit der Röhren nicht modificirt, weswegen es keine besondere Beziehung der Röhren auf die Aërostatik giebt; dagegen aber kommen diese sehr in Betrachtung, sobald es sich um das Fortfliefsen der elastischen Flüssigkeiten in ihnen handelt, welche Aufgabe jedoch oben im Art. *Pneumatik* ausführlich behandelt worden ist. Diesemnach kann hier also nur von den Röhren insofern die Rede seyn, als sie zur Aufnahme tropfbarer Flüssigkeiten dienen, die sich dann in ihnen entweder im Zustande der Ruhe oder der Be-

wegung befinden, wonach das Ganze in die Untersuchung der *statischen* und der *mechanischen* Gesetze zerfällt, die hierbei in Betrachtung kommen.

A. Hydrostatische Gesetze.

Die Röhren, welche Flüssigkeiten enthalten, sind entweder gerade oder gekrümmt; im erstern Falle gelten für sie alle diejenigen hydrostatischen Gesetze, welche ohne Rücksicht auf die Form der Gefäſse bereits nachgewiesen worden sind[1], im zweiten Falle kommen diejenigen in Betrachtung, die man in Beziehung auf *communicirende* Röhren abzuhandeln pflegt. Das hierfür gültige Gesetz, wonach *gleichartige Flüssigkeiten in communicirenden* (d. h. gekrümmten) *Röhren, wie auch deren ungleiche und ungleichförmige Weite und Gestalt seyn möge, mit ihren beiderseitigen Oberflächen in einer horizontalen Ebene liegen oder gleich hoch stehn*, ist gleichfalls bereits aus den allgemeinen Bedingungen des Gleichgewichts tropfbarer Flüssigkeiten entwickelt[2], auch sind zahlreiche Anwendungen davon bei der Beschreibung des *Hebers*, der *hydrostatischen* und *hydraulischen Pressen*, des *follis hydrostaticus* von s'Gravesande, des *tubus Volderianus* u. s. w. gemacht worden; es kommt also hier bloſs darauf an, zu untersuchen, wie man diesen Hauptgrundsatz der Hydrostatik in specieller Beziehung auf die sogenannten communicirenden Röhren behandelt hat.

Mariotte[3] theilt einen allgemeinen Beweis dieses hydrostatischen Hauptsatzes mit, welcher jedoch auf das Maſs der Kräfte oder Bewegungen nach Cartesius und auf die Theorie der geneigten Ebene gegründet ist und daher zunächst nur für feste Körper gilt, folglich bei der Anwendung auf Röhren von willkürlicher Gestalt zu vielen Weitläuftigkeiten führen müſste. Daniel Bernoulli[4] gründete daher den Beweis auf den Satz, daſs die Oberfläche flüssiger Körper in jedem Behältnisse waagerecht seyn muſs, gegen dessen

1 *Hydrostatik.* Bd. V. S. 579.

2 Ebendaselbst S. 581.

3 Traité du mouvement des Eaux. IIme Part. In: Oeuvres de Mariotte. À Leide 1716. 2 T. 4. T. II. p. 365.

4 Hydrodynamica. Sect. II. §. 3.

geometrische Gültigkeit d'Alembert[1] Einwendungen machte, weswegen Kästner[2] vorzieht, denselben unmittelbar als durch die Erfahrung gegeben anzusehn. Inzwischen führen auch d'Alembert und Euler[3] den Beweis auf einen Erfahrungssatz zurück, welchen ersterer für allgemein anerkannt und absolut begründet hält, nämlich: „Wenn ein Gefäſs von beliebiger Gestalt mit einer flüssigen Materie ganz erfüllt ist „und man in diesem Gefäſse eine kleine Oeffnung macht und „an derselben die Oberfläche der flüssigen Materie drückt, so „verbreitet sich dieser Druck gleichförmig nach allen Richtungen und durch alle Theile der flüssigen Materie so, daſs „alle Puncte des Gefäſses nach der auf die Wände desselben „senkrechten Richtung mit einer Kraft gedrückt werden, welche der an der Oeffnung drückenden Kraft gleich ist." Es scheint mir indeſs, als ob es eines solchen Erfahrungssatzes gar nicht bedürfe, indem die bereits durch Stevin[4], nachher durch Dan. Bernoulli[5] und Kästner gewählte Darstellungsart nur etwas modificirt weit sicherer und allgemeiner auf folgende Weise zum Ziele führt.

Daſs es sich bei der ganzen Untersuchung um schwere und zugleich flüssige Körper handle, darf wohl nicht als eines Beweises bedürfend angesehn werden, weil dieses nichts anders als eine vorläufige Bestimmung und Feststellung der Begriffe ist, die bei der ganzen Betrachtung zu berücksichtigen sind. Dieses vorausgesetzt folgt aus der Bedingung der *Schwere* von selbst, daſs jedes Theilchen einer tropfbaren Flüssigkeit sich dem Centrum der Erde möglichst nähern oder den tiefsten Punct einnehmen werde, den es zu erlangen vermag. Wird dann zugleich die Flüssigkeit, also die Eigenschaft berücksichtigt, vermöge welcher auch die feinsten physisch darstellbaren Elemente dieser Körper ohne meſsbare Reibung übereinander hingleiten und sich um einander bewe-

1 Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides. À Paris 1744. 4. §. 13.

2 Anfangsgründe d. angewandten Math. 3e Aufl. Gött. 1780. S. Hydrost. §. 6.

3 Mém. de l'Acad. des Sc. de Prusse. 1755.

4 Elementa hydrost. petit. 7.

5 Comment. Petrop. T. IV. p. 194.

gen, so folgt hieraus, dafs für den Zustand der Ruhe kein einzelnes mefsbares Theilchen höher liegen kann, als die umgebenden, woraus dann die Herstellung des ebenen Meeresspiegels, als einer die eigentliche Begrenzung der Erde gebenden Ebene, von selbst folgt. Da ferner diese nämlichen Gesetze in Anwendung kommen, die das Wasser einschliefsenden Wandungen mögen nahe oder entfernt seyn, so gilt dieser Satz auch für jedes Gefäfs, welches daher bei willkürlicher Gestaltung von jeder Flüssigkeit bis zu deren Oberfläche ganz erfüllt seyn und in letzterer eine waagerechte Ebene, einen *künstlichen Horizont*, bilden mufs. Nehmen wir dann ein willkürliches Gefäfs A B an, welches bis zum Niveau a b mit einer Flüssigkeit angefüllt ist, und denken uns in diesem die willkürlich gestalteten Grenzen $\alpha \varepsilon m n \varkappa \delta$ und die andere Grenzlinie des Durchschnitts $\beta \varrho o \eta \gamma$, so kann hierdurch das Niveau nicht geändert werden, auch wenn statt der durch die Flüssigkeit bestehenden Begrenzung eine andere aus einem festen Körper gegeben wird. Hierdurch ist also der Beweis für den Zustand der Ruhe gegeben, dafs der kleinere Cylinder $\alpha \varepsilon \varrho \beta$ dem gröfsern $\gamma \eta \varkappa \delta$ das Gleichgewicht halten mufs, weil die aufgestellte Behauptung ebenso gut für ein ursprüngliches Niveau $\varepsilon \varkappa$ als a b gilt. Rücksichtlich der Bewegung können die angenommenen geometrischen Grenzen ebenso gut in der bewegten als in der unbewegten Flüssigkeit gedacht werden und mufs also eine Herstellung des waagerechten Niveaus ebensowohl in jener als auch in dieser statt finden. Dazu kommt, dafs der kleine Wassercylinder $\alpha \varepsilon \varrho \beta$ den gröfsern $\gamma \eta \varkappa \delta$ nur zu einer dem Verhältnisse ihres Inhalts umgekehrt proportionalen Höhe heben wird, so dafs also, wenn die Massen durch m und M, die Höhen durch H und h bezeichnet werden, die mechanischen Momente m H und M h einander gleich sind. Auf diese Weise findet auch die Aufgabe über die ihren specifischen Gewichten umgekehrt proportionale Höhen ungleichartiger Flüssigkeiten in communicirenden Röhren Erledigung, die bereits an einem andern Orte untersucht worden ist[1].

Fig. 247.

1 Art. *Hydrostatik.* Bd. V. S. 586. Hube Vollständ. und fafslicher Unterricht in d. Naturlehre Th. I. S. 170. will diesen Satz aus der Elasticität des Wassers folgern, allein Gehler hat bereits die Unzu-

Eine bei den Röhren hauptsächlich in Betrachtung kommende Frage ist die, wie dick ihre Wandungen seyn müssen, wenn sie einem gegebenen Drucke Widerstand leisten sollen. Hierbei versteht sich von selbst, daſs der Druck des Wassers gegen die innern Wandungen diejenige Last giebt, welcher die Cohäsion der Röhren Widerstand leisten soll, wonach also die Dicke jener Wandungen der Cohäsion der dazu verwandten Körper proportional seyn muſs. Der Druck gegen ein einzelnes Element der Fläche irgend eines Gefäſses, und also auch einer Röhre, kann nicht stärker und nicht schwächer seyn als derjenige, welcher erfordert wird, um das Wasser in einer Röhre, deren untere Weite dem gegebenen Elemente gleich ist, bis zu derjenigen Höhe zu heben, welche das Wasser in dieser erreichen würde, mithin beim Stillstande der Flüssigkeit bis zum Spiegel des drückenden Wassers. Es kommt also auch hierbei der allgemeine hydrostatische Grundsatz in Anwendung, daſs der Druck gegen eine gegebene Fläche einem Wassercylinder von der Basis dieser Fläche und der Höhe vom Schwerpuncte derselben bis zum Wasserspiegel gleich ist, ohne daſs die Weite des Gefäſses oder der Röhre in Beziehung auf diese Fläche in Betrachtung kommt, mögen dieselben enge oder von der Ausdehnung des Weltmeeres seyn. Die Bedingungen ändern sich aber, wenn man berücksichtigt, daſs der gedrückte Flächentheil von den angrenzenden Flächentheilen gehalten werden muſs, welche gleichfalls dem Drucke der Flüssigkeit ausgesetzt sind, wonach also die Summe dieser Pressungen das Gefäſs zu zerreiſsen strebt, welches der hierdurch erzeugten Kraft durch seine Cohäsion Widerstand leisten muſs. Denkt man sich also aus einer Röhre einen schmalen Ring ausgeschnitten, so wird die Summe jener Pressungen der Menge der hierin enthaltenen gleich groſsen Elemente, also der Gröſse des Umfangs oder dem Halbmesser proportional seyn. Dieser Satz läſst sich am einfachsten an-

---

lässigkeit dieses Beweises und die in demselben verborgen liegende Verwechselung der Begriffe von Flüssigkeit und Federkraft genügend nachgewiesen. S. Alte Ausg. Th. V. S. 766. Ueber die Meinungen von Euler, Lambert und Jac. Bernoulli, welche in dem Aufsteigen des Wassers in communicirenden Röhren gleichfalls einen Beweis seiner Elasticität finden wollten, s. Nov. Act. Pet. T. VI. p. 186.

schaulich machen, wenn man ihn an einem Polygone nachweist. Zu diesem Behufe diene das Sechseck ABCDEF, gegen dessen Winkelpuncte die Kräfte P, Q, R, S, T, V vom Centrum O aus drücken. Nimmt man hiervon die eine PO und den Punct y, um die Kraft zu bestimmen, mit welcher P hiergegen drückt, so ziehe man das Parallelogramm Axyz, und da die Kraft P nebst den Pressungen der Seiten AB und AF im Gleichgewichte sind, so verhalten sie sich, wie die drei Linien Ay, Az, xy oder, bei der Gleichheit der Dreiecke, wie AB, OB, OA, welche Demonstration für die übrigen Seiten gleichfalls gilt. Heißen also die Spannungen der Seiten AB, BC, CD, DE, EF, FA = x, g, h, k, l, z, so erhalten wir

Fig. 248.

$$P:Q:R:S:T:V = x:g:h:k:l:z,$$

$$AB:BC:CD:DE:EF:FA = OB:OC:OD:OE:OF:OA,$$

und da alle diese gleich sind,

$$P + Q + R + S + T + V : x = AB + BC + CD + DE + EF + FA : OB.$$

Hieraus folgt, daß alle Theile des Polygons einen gleichen Druck auszuhalten haben und daß die Summe aller dieser Pressungen sich zu der gegen eine Seite verhält, wie der Perimeter des Polygons zum Halbmesser des umschriebenen Kreises. Wird dieses Resultat mit den übrigen bekannten hydrostatischen Gesetzen vereint, so ist *die Stärke des Drucks gegen die Wandungen der Röhren im zusammengesetzten Verhältnisse der Halbmesser und der Höhe nebst dem specifischen Gewichte der Flüssigkeiten*[1].

Gehn wir von dieser theoretischen Betrachtung zur praktischen Anwendung über, so lassen sich mit Benutzung anderweitiger bekannter Gesetze die Regeln leicht auffinden, wonach die

---

1 Vergl. hierüber die Lehrbücher der Hydraulik und Hydrodynamik, z. B. LANGSDORF Lehrb. der Hydraulik. Altenb. 1794. §. 98. BRANDES Lehrbuch d. Gesetze d. Gleichgewichts und d. Bewegung fester und flüssiger Körper. Leipz. 1817. Th. I. S. 184. BARLOW in Encyclop. metr. Hydrodyn. p. 176. LESLIE Elements of nat. Phil. T. I. p. 282 u. a. m. BARLOW in Edinb. Journ. of Science N. IV. p. 293. beweist aus der Theorie, die durch die Erfahrung bestätigt seyn soll, daß die Metallstärke bei größerem Durchmesser mehr als in diesem Verhältnisse zunehmen müsse, weil bei größerer Dicke des Rings der Druck die innere Lage desselben im Verhältnisse zur äußern stärker afficirt, als dieses bei dünnern der Fall ist.

Dicken der Röhren unter gegebenen Bedingungen bestimmt werden. Handelt es sich daher zuvörderst um die Statik der Flüssigkeiten, wonach also jeder Theil der Röhre einen der Höhe proportionalen Druck erleidet, so führen folgende etwas abgeänderte Betrachtungen zu dem gewünschten Resultate. Ist eine Röhre von einer beliebigen Substanz und einem Halbmesser $= r$ gegeben, so nimmt man von dieser einen Ring, der Bequemlichkeit wegen 1 Zoll hoch, und erhält dann die gedrückte Fläche $= 2r\pi$ in Zollen, oder, wenn die Höhe des Rings allgemein b genannt wird, $= 2r\pi b$. Ist dann das Gewicht eines normalen kubischen Maſses der Flüssigkeit P und die Höhe der Säule H, so ist der gesammte Druck gegen den Ring, dem die Cohäsion desselben an jeder Stelle Widerstand leisten muſs, $= 2r\pi bPH$. Werden beide Gröſsen, sowohl dieser Druck, als auch die Cohäsion, oder, was einerlei ist, die absolute Festigkeit der zu den Röhren verwandten Substanzen in Pfunden ausgedrückt, und berücksichtigt man zugleich, daſs hierbei für die Praxis nur von genäherten Werthen die Rede seyn kann, mithin die Höhe H füglich in pariser Fuſs, P also für Wasser = 70 ℔. und b der Bequemlichkeit wegen = 1 Zoll genommen werden kann, um die im Art. Cohäsion[1] angegebenen Gröſsen unmittelbar in Anwendung zu bringen, so ist, wenn die Cohäsion = C genannt wird, $2r\pi \times 70 \times H = C$ für das Maximum der Haltbarkeit der verschiedenen Röhren. Für den Werth von P = 70 ℔. müſste r in Fuſsmaſs genommen werden, was für die Praxis unbequem ist, weswegen man besser r in Zollen und $P = \frac{70}{144}$ annimmt; ferner ist C für eine Querschnittsfläche von einem Quadratzoll gefunden, allein auch hierfür ist es bequemer, nach Linien zu bestimmen, und daher die aus der angegebenen Tabelle entnommenen Werthe von C durch 12 zu dividiren, um hierdurch sofort die Cohäsion eines Streifens von einem Zoll Breite und einer Linie Dicke zu erhalten. Endlich steht sowohl die Druckhöhe des Wassers als auch der Halbmesser der Röhren mit der erforderlichen Cohäsion der Röhrenwandungen im einfachen geraden Verhältnisse, und es ist also bloſs erforderlich, die einander zu-

1 Bd. II. S. 145.

gehörigen Gröfsen für eine gewisse Normalbestimmung zu berechnen, um diese dann sofort auf andere n oder $\frac{1}{n}$fache anzuwenden.

Diejenigen Substanzen, die man zu Wasserröhren zu verwenden pflegt, sind Gufseisen, Kupfer, Messing, Zink, Zinn, Blei, Glas, Holz und Thon. Von allen diesen ist die absolute Festigkeit bekannt, aufser beim Holze, wo man nur die nach den Lägenfibern untersucht hat, nicht aber nach dem Querschnitte derselben[1], die noch obendrein bei der veränderlichen Nässe und der ungleichen Festigkeit der verschiedenen Ringe solcher Stämme, die zu Röhrenleitungen genommen werden, kaum überhaupt bestimmbar ist. Die Angaben in der genannten Tabelle, durch 12 dividirt, also auf 1 Lin. Dicke reducirt, sind für Gufseisen = 5865 ℔, für Kupfer 2500, für Messing 1544, für Zink 242, für Zinn 291, für Blei 76, für Glas 234 und für Ziegelsteine, als annähernde Bestimmung für gebrannte thönerne Täuchel, = 24 ℔, wenn ich für alle diese Bestimmungen ungefähr die mittlern Werthe aus den dortigen Angaben wähle, mit Vermeidung insbesondere der bedeutend grofsen[2], und sie können daher als genähert richtig gelten, mit Ausnahme des für gegossenes Zink gefundenen, da das gewalzte gewifs bedeutend stärker ist, desgleichen für Thon, indem gut gebrannte Röhren die Mauerziegel an Festigkeit sicher übertreffen. Nehmen wir also als Norm solche Röhren an, deren Durchmesser 2 Zoll beträgt, und die Dicke der Wandung zu 1 Linie, so wird durch Substitution des Zahlenwerths für π, und $r = 1$ genommen, aus der oben mitgetheilten Formel in

---

1 Nach Tredgold beträgt die Cohäsion eines Stabs Eichenholz von einem Quadratzoll Querschnitt 2316 ℔. S. Leslie Elem. of nat. Phil. I. 285. Allein ich mag diese Bestimmung, die für die Querrichtung der Fibern aufgefunden worden seyn soll und für den Zustand der Trockenheit auch richtig seyn kann, für nasses Holz aber sicher zu grofs ist, gar nicht in Anwendung bringen.

2 Für Eisen wird in der Praxis meistens nur etwa 20000 ℔, also nach der hier statt findenden Reduction $\frac{20000}{12} = 1667$ angenommen, allein ich habe dennoch 70380 ℔ als die aus den Versuchen folgende Bestimmung beibehalten, um Uebereinstimmung mit den übrigen zu erhalten.

hinlänglich genähertem Werthe $H = \frac{C}{3,06}$, wonach Röhren von der angegebenen Dimension aus folgenden Substanzen durch die zugehörigen Wasserhöhen in pariser Fuſs gerade bis an die Grenze ihres möglichen Widerstands kommen.

Eisen,	Kupfer,	Messing,	Zink,	Zinn,	Blei,	Glas,	Thon.
1916,	817,	504,	80,	95,	25,	76,	8.

Sollen diese Werthe in der Praxis benutzt werden, so ist zwar mit dem Zerspringen der Wasserröhren keineswegs eine gleiche Gefahr verbunden, als dieses bei solchen der Fall zu seyn pflegt, die zur Fortleitung des Wasserdampfs oder überhaupt elastischer Flüssigkeiten dienen, und man wird daher genügende Sicherheit erlangen, wenn man von der hier gefundenen Höhe nur den dritten Theil nimmt, ist aber in einem gegebenen Falle die Gefahr und der daraus entstehende Nachtheil bedeutend groſs, so müssen die erforderlichen Sicherheitsmaſsregeln hiernach abgemessen werden. Dabei wird jedoch vorausgesetzt, daſs die Dicke der Röhrenwandungen überall gleichmäſsig sey und sich keine dünneren Theile (sogenannte Fehlstellen) darin befinden, die sonst früher zerreiſsen müſsten, weswegen man die Röhren für bedeutende Anlagen vorher probirt, indem man vermittelst einer starken Presse das Wasser in ihnen bis zu einem Drucke preſst, welcher denjenigen in einem erforderlichen Verhältnisse übertrifft, den sie künftig auszuhalten haben.

Es giebt verschiedene, zum Theil durch Erfahrung gefundene, zum Theil aber nur nach allgemeinen Analogieen aufgestellte Bestimmungen über die Dicke der Röhrenwandungen im Verhältnisse zu ihren Durchmessern und den Wasserhöhen, denen sie Widerstand leisten können, für die verschiedenen am meisten gebräuchlichen Substanzen, von denen ich die wichtigsten mittheilen und mit denen aus den vorstehenden Bestimmungen vergleichen werde.

1) Nach Parent und Belidor[1] erfordert eine Bleiröhre von 12 Zoll Durchmesser 9 Linien Metalldicke für 60 Fuſs Druckhöhe; nach der obigen Bestimmung verträgt sie nur 37,5.

---

1 Langsdorf Lehrbuch der Hydraulik. S. 131.

2) Röhren von Compositionsmetall sollen bei jener Weite und 3 Linien Metalldicke einer gleich hohen Wassersäule Widerstand leisten; die obige Bestimmung giebt für Kupfer 408 und für Messing 252 Fuſs.

3) Nach LANGSDORF widerstanden nicht vorzüglich gute guſseiserne Röhren 10 Zoll weit bei 1 Zoll Dicke der Wandungen der Erfahrung nach einer Wassersäule von 240 Fuſs hinlänglich und vermuthlich mit mehr als genügender Cohäsion; die Tabelle giebt 4598 Fuſs. Es wird auſserdem hinzugesetzt, die Dicke der Wandungen dürfe in diesem Falle nicht geringer als ⅔ Zoll oder 8 Linien seyn, wofür die Tabelle 3065 Fuſs giebt.

4) Buchene Täuchel von 14 Zoll Weite und bei einer Länge von 2,5 Fuſs mit 4 starken eisernen Bändern beschlagen hielten bei 2,5 Zoll dicken Wandungen einen Druck von 240 Fuſs aus.

5) Fichtene Röhren von 6 Zoll Weite und bei 10 Fuſs Länge bloſs an den Enden beschlagen hielten 40 Fuſs Druck aus, eine bekam jedoch bei 50 Fuſs Druckhöhe einen Riſs an einer Stelle, wo die Dicke der Wandung nur 4 Zoll betrug, wonach also 4,5 oder 5 Zoll hierfür erforderlich sind.

LESLIE[1] stellt eine der oben mitgetheilten ähnliche Formel auf, nimmt aber die Cohäsionskraft des Guſseisens für einen Quadratzoll Querschnitt nur zu 19096 ℔ an, und findet hiernach für eine Röhre von 15 Zoll Durchmesser und 8 Lin. Eisendicke die Höhe = 600 Fuſs und für eine von gleichem Durchmesser und ¾ Zoll Metalldicke 1000 Fuſs, statt daſs aus den obigen Bestimmungen für die erstere 2043, für die letztere 3832 Fuſs hervorgeht. Solche ¾ Zoll dicke Röhren wurden zu der Wasserleitung von den Pentland-Hills nach Edinburg verwandt und deswegen durch JARDINE vorher probirt, wobei sie mehr als 800 Fuſs Druck aushielten, und man darf also für die praktische Anwendung von den mitgetheilten Bestimmungen dreist Gebrauch machen, wenn man sie auf den

---

1 Elements of nat. Philos. T. I. p. 284. Eine Reduction der verschiedenen Maſse finde ich überflüssig, da es hier auf scharfe Bestimmungen nicht ankommt und ohnehin die ungleichen Gröſsen, wenn die einander zugehörigen gleichzeitig in Anwendung kommen, einander ausgleichen.

dritten Theil ihrer wirklichen Gröfse reducirt. Die früher zu Comiston gebrauchten bleiernen Röhren hatten nur 4,5 Zoll Durchmesser und $\frac{3}{4}$ Zoll Metalldicke, wofür Leslie eine Druckhöhe von 172 Fuſs findet; nach der oben angenommenen Cohäsion des Bleis beträgt diese aber nur 80 Fuſs. Nach Tredgold soll die Cohäsion für einen Stab von einem Quadratzoll Querschnittsfläche bei Eichenholz nach den Querfibern 2316 ℔ betragen und daher eine Röhre von 15 Zoll Durchmesser und 2 Zoll Holzdicke einen Druck von 179 Fuſs aushalten, Erlenholz einen gleichen und Lerchenbaum halb so viel; allein es ist nicht wahrscheinlich, daſs diese Annahmen sich in der Erfahrung bestätigen würden.

Bei Gelegenheit des Probirens der guſseisernen Röhren zu Edinburg stellte Jardine[1] auch Versuche an mit bleiernen. Die zuerst hierzu verwandten hatten 1,5 Zoll im Durchmesser, $\frac{1}{5}$ Zoll Metalldicke, und widerstanden einem Drucke von 1000 Fuſs, wofür die obige Bestimmung nur 80 Fuſs giebt. Als der Druck fortgesetzt wurde, fing die Röhre bei 1200 Fuſs an zu schwellen und erhielt bei 1400 F. Druckhöhe einen scharfen, wie mit einem Messer gemachten Einschnitt. Eine zweite Röhre von 2 Zoll Durchmesser und $\frac{1}{5}$ Zoll Metalldicke hielt nur 800 F. Druckhöhe aus, statt daſs die obigen Bestimmungen nur 60 F. geben.

Eine Prüfung der hier mitgetheilten Erfahrungen führt zu folgenden Resultaten. Für guſseiserne Röhren übersteigt die theoretisch gefundene Druckhöhe die aus der Erfahrung entnommene bei weitem; allein die Versuche von Jardine geben nicht den Druck an, bei welchem die Röhren zerreiſsen, und hierüber kann ich überhaupt keine Bestimmungen auffinden; es ist daher immerhin möglich, daſs solche Röhren in der Wirklichkeit einen stärkern Wasserdruck, als den theoretisch gefundenen aushalten. Dieses ist nämlich ohne Widerrede bei den bleiernen der Fall. Hierfür habe ich zwar nur die geringste Angabe der Cohäsion dieses Metalls = 913 ℔ angenommen, aber auch dann, wenn ich die stärkste = 3934 ℔ nehme, die Musschenbroek für Bleidraht fand, so würde aus der oben angenommenen Normalgröſse statt 25 ℔ vielmehr 107

1 Aus Gill's technical Repository in Dingler's polytechn. Journ. XIX. 79.

und die mitgetheilten Bestimmungen von Belidor verwandelten sich aus 37,5 in 160, die von Leslie aus 80 in 342, also bedeutend mehr, als die angenommenen Gröfsen, nämlich die erstere = 60 und die letztere = 172 Fufs; bei einer Vergleichung mit den Versuchen von Jardine bleibt aber die theoretische Bestimmung sehr hinter der durch Erfahrung gefundenen zurück, indem erstere für beide Fälle nur 342 und 257 Fufs Druckhöhe, die letztere dagegen 1000 und 800 Fufs giebt. Was der Grund einer so bedeutenden Abweichung sey, läfst sich vorläufig nicht ausmitteln, inzwischen folgt so viel, dafs die Cohäsionskraft der verschiedenen Körper dem Wasserdrucke vorzugsweise und stärker widersteht, als wenn sie durch anderweitige mechanische Mittel überwunden wird, vermuthlich weil bei der Anwendung der letztern einiges Beugen und Drehen nicht vermeidlich ist. Hiernach würden also die theoretischen Bestimmungen, um so mehr, wenn man nach Jardine nur ein Drittel derselben annähme, auch für die praktische Anwendung hinreichende Sicherheit gewähren, wenn nicht noch folgende Umstände dabei in Betrachtung kämen.

Nicht blofs die Brunnenmacher, sondern auch Schriftsteller, als Bossut, Cancrin u. a, nehmen an, dafs die oft in Röhren vorhandene Luft das Zersprengen derselben befördere. Hiergegen erinnert jedoch v. Langsdorf [1] mit Recht, dafs die Luft blofs durch das Wasser zusammengeprefst wird und noch weicher ist, als dieses, dafs sie also auf keine Weise einen stärkern Druck auszuüben vermag. Die durch Erfahrung gegebene Sache mufs daher auf einem anderweitigen Grunde beruhn, und dieser kann kein anderer seyn, als dafs die in der Röhre sich ansammelnden und den Flufs des Wassers in derselben durch die Verengerung verzögernden Luftblasen plötzlich in die Höhe steigen, so dafs der Wassercylinder eine schnellere Bewegung erhält und dadurch einen Stofs gegen die Röhrenwandungen ausübt. Veranlassungen zu solchen Stöfsen des Wassercylinders giebt es noch andere, z. B. das plötzliche Verschliefsen eines Hahns (Krahnen), die den Röhrenwandungen sehr gefährlich sind, weil sie nach v. Gerstner's richtiger Ansicht Veranlassung geben, dafs der fortfliefsende Wassercylinder nach Art eines hydraulischen Widders

1 Lehrbuch d. Hydraulik. S. 134.

wirkt. Mit Rücksicht auf diese möglichen Einflüsse giebt Genieys[1], gestützt auf die vielen Erfahrungen, die bei den Wasserleitungen zu Paris und Versailles gemacht worden sind, für bleierne Röhren die Formel: $e = 0{,}005\, n . d + 0{,}0045$, worin e und d die Dicke der Wandungen und den Durchmesser der Röhren, n aber die Anzahl der Atmosphären, jede zu 10 Meter, bezeichnen. Die hieraus gefundene Wanddicke $= e$ soll dann in der Wirklichkeit aber nur etwa zum fünften Theile genommen, die Röhren aber sollen vorher einer Probe auf das Ganze ausgesetzt werden. Für eiserne Röhren giebt derselbe die Formel $e = 0{,}0007\, n . d + 0{,}01$. V. Gerstner hat die Reduction auf Fufs und Linien für den wirklichen Gebrauch vorgenommen, und findet für bleierne Röhren von 2 Zoll Durchmesser bei 100 Fufs Druck 4,22 Lin., für eiserne aber bei gleichem Durchmesser und gleicher Höhe 4,86 Linien, wobei es auffallend ist, warum die eisernen bei kleinern Durchmessern eine gröfsere und bei gröfsern eine kleinere Dicke haben sollen, als die bleiernen, denn bei 10 Zoll Durchmesser und 100 Fufs Druckhöhe sollen die bleiernen 12,92, die eisernen aber nur 6,38 Lin. Metalldicke haben. Die obigen Bestimmungen geben für diese Dimensionen für bleierne Röhren 105,5 und 64,6 Fufs Druckhöhe, für eiserne aber 9311 und 2445 Fufs.

Nehmen wir das Resultat aller bisherigen Untersuchungen zusammen, so ergiebt sich, dafs die oben angegebenen Bestimmungen auch für die Praxis zulässig sind, weil sie auf richtigen physikalischen Grundsätzen beruhn. Sie können daher auch in der Anwendung benutzt werden, und Röhren, deren Stärke nach ihnen eingerichtet wäre, würden daher bei vollkommener Ruhe und ohne das Hinzukommen irgend einer sonstigen Gewalt dem berechneten Wasserdrucke allerdings den gehörigen Widerstand leisten. Da aber solche anderweitige Ursachen des Zersprengens nie fehlen, aufserdem aber die metallenen Röhren sofort einer beginnenden Zerstörung ausgesetzt sind, in den meisten Fällen auch eine etwas gröfsere Metalldicke die Kosten nicht so bedeutend vermehrt, so wird man wohl thun, den eisernen nur den zehnten Theil, den

---

1 Essay sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux. Par. 1829. p. 177. Vergl. v. Gerstner's Handbuch d. Mechanik. Th. II. S. 19.

kupfernen und bleiernen aber nur den dritten Theil der berechneten Druckhöhen anzuvertrauen. Hölzerne Röhren werden des Verfaulens wegen jetzt nur da angewandt, wo das Holz in Menge vorhanden ist, und man thut dann wohl, dieses Material von gewiſs zureichender Stärke zu wählen.

Gebrannte thönerne Röhren haben in vielen Beziehungen entschiedene Vorzüge, jedoch hat man ihre Haltbarkeit in Zweifel gezogen und auſserdem in ihrer Sprödigkeit und der gehörigen wasserdichten und dauerhaften Zusammenfügung Schwierigkeiten gegen ihre allgemeinere Anwendung gefunden. Die Stärke derselben, welche hier allein in Betrachtung kommt, ist durch die neuesten Versuche sehr befriedigend dargethan worden, denn solche festgebrannte Täuchel von 5 Fuſs Länge und 2,5 bis 2 Zoll Durchmesser, die zu einer Wasserleitung in Prag genommen wurden, hielten bei einer Dicke von $\frac{5}{8}$ Zoll einen Druck von 50 Fuſs aus, und obgleich nach einem Jahre eine derselben zersprang, so kann doch dieses nur einer zufällig vorhandenen Fehlstelle zugeschrieben werden[1]. Neuerdings hat man die vortrefflichen, zu Waiblingen im Würtembergischen verfertigten, von 4 Fuſs Länge, 3 Zoll Weite und 6 Linien Dicke, amtlich probirt (unter der Leitung des Ober-Wasser-Baudirectors Obrist v. Duttzenhofer) und gefunden, daſs sie selbst und ihre nachher zu erwähnende Verkittung durch Trastmörtel einen Wasserdruck von 180 Fuſs aushalten.

B. Hydraulische und hydrodynamische Gesetze.

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf das Verhalten der Flüssigkeiten in Röhren unter der Bedingung des bestehenden Gleichgewichts; es giebt aber noch gleich wichtige Untersuchungen, bei denen es sich um die *Bewegungsgesetze* der Flüssigkeiten in Röhren handelt, die hier noch kurz erörtert werden müssen. Die eine derselben bezieht sich auf den *Ausfluſs der Flüssigkeiten* aus kürzern und längern Röhren von verschiedener Form und ist bereits mit genügen-

1 V. Gerstner Handbuch der Mechanik. II. S. 249.

der Vollständigkeit im Art. *Hydrodynamik*[1] behandelt worden; auch ist die Anwendung der dort aufgefundenen Gesetze oben im Art. *Rad, Mühlrad*, nachgewiesen worden, worauf ich hier verweisen kann; die andere bezieht sich auf diejenigen Gesetze, wodurch das *Fortfliefsen* der Flüssigkeiten, namentlich des Wassers, in und durch Röhren von verschiedener Beschaffenheit bedingt wird. Auch hierüber ist bereits gesagt worden[2], dafs die Theorie noch keineswegs genügend begründet worden sey, und da noch obendrein das ganz ähnliche, auf gleichen Gesetzen beruhende Problem über das Verhalten elastischer Flüssigkeiten beim Strömen durch Röhren ausführlich erörtert worden ist[3], so wird es hier genügen, nur die der Wahrheit am nächsten kommenden Resultate für den praktischen Gebrauch mitzutheilen.

Wenn es sich zuvörderst um den *Widerstand* handelt, welchen die Röhrenwandungen dem in ihnen fliefsenden Wasser entgegensetzen müssen, so vermindert sich dieser mit der Geschwindigkeit seiner Bewegung. Bekanntlich ist nämlich die Geschwindigkeit $v = f(H)$, und da nach der oben mitgetheilten Formel die Stärke der Röhren gleichfalls $= f(H)$ ist, so folgt hieraus, dafs die Druckhöhe durch die Geschwindigkeit bedingt werde. Es ist dann ferner $H = \frac{v^2}{4g}$, und wenn also H und H' die Druckhöhen bezeichnen, womit das Wasser bei den zugehörigen Geschwindigkeiten gegen die Röhrenwandungen drückt, so ist $H' = H \frac{v'^2}{v^2} \text{ Sin. } \alpha$, d. h. der Druck gegen die Wandungen wird nicht stärker seyn als derjenige, welchen das Wasser dagegen ausüben würde, wenn es stillstehend eine Höhe erreichte, aus welcher lothrecht herabfallend dasselbe die Geschwindigkeit erhalten würde, mit welcher es sich in der Röhre bewegt, vorausgesetzt dafs dieser Druck lothrecht gegen die Wandungen der Röhren gerichtet ist, was nur bei ihrer horizontalen Lage statt findet, zu welchem Ende der Factor hinzukommt, worin α den Neigungswinkel mit der verticalen Linie bezeichnet. Mit andern

1 Bd. V. S. 532.
2 *Hydrodynamik.* Bd. V. S. 549.
3 Art. *Pneumatik.* Oben S. 639.

Worten kann man einfach sagen: das fließende Wasser übt gegen die Röhrenwandungen einen Druck aus, welcher derjenigen Höhe proportional ist, bis zu welcher dasselbe in einer an der gegebenen Stelle aufgesetzten Röhre steigen würde. In der Praxis enthalten die eine geneigte Ebene bildenden Röhren oft so wenig Wasser, daſs sie davon gar nicht ganz erfüllt werden und also gar kein Druck gegen die gesammte Peripherie der Wandungen statt findet, auſserdem aber kann es als Regel gelten, den Röhren im Allgemeinen diejenige Stärke zu geben, die der verticalen Wasserhöhe zugehört, da es sich leicht ereignen kann, daſs diese durch irgend eine Verstopfung in den Röhren wirklich erreicht wird.

Die Frage über die *Geschwindigkeit der Bewegung* des Wassers in Röhrenleitungen kommt hauptsächlich dann in Betrachtung, wenn es sich darum handelt, die Menge desselben zu bestimmen, welche durch Röhren von einer gewissen Weite im Lichten (*lumen*) erhalten werden kann. Hierbei sind aber zwei wesentliche Bedingungen zu berücksichtigen, nämlich zuerst, daſs die Röhren an keiner Stelle eine Verengerung haben, und zweitens, daſs sie nicht in einem Winkel gebogen sind. Eine Verengerung würde zwar nicht völlig zur Folge haben, daſs man die Weite der ganzen Leitung nach dem Durchmesser dieser Stelle bestimmte, da das Wasser in ihr auf eine kurze Strecke eine gröſsere Geschwindigkeit annehmen könnte, allein da dieses von der Länge einer solchen verengten Strecke abhängt, so ist die Bestimmung hierüber ausnehmend schwierig, es würde dann immerhin am gerathensten seyn, die Weite der ganzen Röhrenleitung nach dem kleinsten Durchmesser zu bestimmen. Sind die Röhrenleitungen in einem Winkel gebogen, so muſs dieses besonders berücksichtigt werden, und die folgenden Untersuchungen beziehn sich daher auf gleich weite und gerade Röhrenleitungen.

Damit das Wasser in den Röhren fortflieſse, müssen die letztern entweder gegen den Horizont geneigt seyn, oder, wenn sie horizontal liegen, ihren Zufluſs aus einem Gefäſse erhalten, worin das Wasser einen höhern Stand hat; denn dasselbe kann nur unter der Bedingung sich bewegen, wenn es als schwerer Körper lothrecht oder auf der geneigten Ebene herabfällt, in beiden Fällen aber folgt es ganz den bekannten

Fallgesetzen. Gehn die Röhrenleitungen zuerst herabwärts und dann wieder aufwärts, so wird in beiden Schenkeln nach den angegebenen statischen Gesetzen zuerst das Gleichgewicht für gleiche verticale Höhen hergestellt, dann aber erfolgt das Ausfliefsen aus dem niedrigern Schenkel mit einer durch den Unterschied der Höhe des längern bedingten Geschwindigkeit. In allen Fällen müfste daher die Fallgeschwindigkeit desselben $v = 2\sqrt{gH}$ seyn, und wäre dann der Querschnitt der Röhre bekannt, so gäbe dessen Flächeninhalt $= f^2$ mit der Geschwindigkeit multiplicirt, also vf^2, den Kubikinhalt des in einer Secunde ausfliefsenden Wassers, wenn nicht Hindernisse, welche diese Geschwindigkeit der Bewegung vermindern, jene theoretisch bestimmte Menge verringerten. Inwiefern dieses durch die *Ausgufsröhren* geschieht, ist bereits untersucht worden, und es kommen daher nur die hier in Frage stehenden Hindernisse der Bewegung zur Untersuchung, die durch die *Fortleitungsröhren* erzeugt werden. In dieser Beziehung fehlen uns aber bis jetzt noch, so weit mir bekannt ist, gleich gründliche theoretische Untersuchungen, als die über die Strömungen der Luft von mir im Art. *Pneumatik* beigebrachten sind, und auch die Erfahrungen sind keineswegs in solchem Umfange und mit gleicher Gründlichkeit angestellt worden, als bei jener Aufgabe.

Die Hindernisse, welche die Geschwindigkeit der Bewegung in Röhren bei Flüssigkeiten vermindern, liegen in der Reibung und Adhäsion derselben an den Wandungen. Zwar findet bei den Flüssigkeiten keine eigentliche Reibung statt, allein die langsamere Bewegung elastischer Flüssigkeiten in rauhen Röhren nach den Beobachtungen von G. G. Schmidt zeigt doch das Vorhandenseyn einer Art Reibung, und auf jeden Fall dürfen sich in den Röhren keine solchen Rauheiten befinden, wogegen die bewegten Flüssigkeiten stofsen könnten, weil sonst nothwendig hieraus ein Hindernifs erwachsen müfste; übrigens kommt die Substanz, woraus die Röhren bestehn, nicht in Betrachtung, sondern es gelten für alle die nämlichen Gesetze. Die eigentliche Ursache, wodurch die Geschwindigkeit der Bewegung der Flüssigkeiten in Röhren vermindert wird, ist die *Adhaesion* derselben an den Wandungen. Wenn ich rücksichtlich der eigenthümlichen Art, wie diese Verzögerung statt findet, und der Gesetze, die

hierbei in Betrachtung kommen, auf dasjenige verweise, was hierüber in Beziehung auf elastische Flüssigkeiten im Artikel *Pneumatik* bereits gesagt worden ist und dem Wesen nach auch auf tropfbare angewandt werden kann, so ist soviel wenigstens gewifs, dafs dieses Hindernifs mit der Länge der Röhrenleitung und der Abnahme des Durchmessers wachsen müsse, weil beide Bedingungen im Verhältnisse zu dem fortfliefsenden Wassercylinder wachsen. Hieraus folgt also, dafs die Verzögerung der theoretisch bestimmten Bewegungsgeschwindigkeit im geraden Verhältnisse der Länge der Röhrenleitung und im umgekehrten des Durchmessers wachsen müsse; die Aufgabe bezieht sich also nur auf die Bestimmung des Verhältnisses, in welchem diese Verzögerung für beide verschiedene Bedingungen statt findet, und hierüber entnehmen die Schriftsteller aus den vorhandenen Erfahrungen die erforderlichen Bestimmungen.

Die Versuche, welche man zu benutzen pflegt, um einen analytischen Ausdruck der Geschwindigkeit des in Röhren fliefsenden Wassers bei gegebener Gröfse der Länge, des Durchmessers und der Fallhöhe aufzufinden, sind die von Bossut[1] und Couplet und die von du Buat[2], allein die Formel, welche Bossut aus seinen eigenen und du Buat aus beider Versuchen ableitet, ist für die praktische Anwendung zu unbequem, eben dieses ist der Fall bei der durch Robison[3] gegebenen, welcher den Gegenstand sehr ausführlich behandelt, sehr einfach dagegen ist der durch Thom. Young[4] vorgeschlagene analytische Ausdruck, wonach

$$V = 153(\sqrt{d} - 0{,}2)\sqrt{\left(\frac{H}{L+45\,d}\right) + 1{,}6\left(\frac{H}{L+45\,d}\right)^{\frac{7}{8}}} - 0{,}001$$

die Geschwindigkeit V des ausfliefsenden Wassers (ohne Rücksicht auf die Zusammenziehung der Wasserader beim Ausflusse) aus dem Durchmesser der Röhre = d, der Länge der

---

1 Traité theorique et experimental d'Hydrodynamique. 3me ed. Paris 1791. 2 vol. 8. Uebersetzt von Langsdorf. Frankfurt 1792. 2 vol. 8.

2 Principes d'Hydraulique. Paris 1816. 3 T. 8. Erste Ausgabe. Ebend. 1786.

3 System of mechanical Philosophy. T. II. p. 421.

4 Encyclop. metrop. art. Hydrodyn. p. 237.

Leitung = L und der lothrechten Höhe = H gefunden wird. Im Ganzen wird den Resultaten der Versuche gemäſs in dieser Formel die Geschwindigkeit des Wassers in langen Röhren der Quadratwurzel aus ihrem Durchmesser direct und aus ihrer Länge umgekehrt proportional gesetzt, was in einer durch Leslie[1] aufgestellten einfachen Formel, wonach

$$V = 50 \sqrt{\frac{dH}{L}}$$

seyn soll, gleichfalls geschieht. Langsdorf[2] handelt über diesen Gegenstand sehr ausführlich, ist aber der Meinung, daſs man aus dem nämlichen Grunde, wonach die Geschwindigkeit im geraden quadratischen Verhältnisse der Längen und im umgekehrten quadratischen der Durchmesser vermehrt wird, mit folgender bequemen Formel der Wahrheit mindestens sehr nahe komme, wonach die Geschwindigkeit des Ausflieſsens

$$V = \frac{\sqrt{5784 . H}}{\sqrt{\left(1 + \frac{1,6\,L}{72\,d}\right)}}$$

und, wenn man zugleich nach du Buat die Hindernisse berücksichtigt, welche aus mäſsigen, nicht eckigen, sondern abgerundeten, 45° nicht erreichenden Krümmungen entstehn,

$$V = \frac{\sqrt{5784 . H}}{\sqrt{\left(1 + \frac{1,6\,L}{72\,d} + 0,16\,S^2\right)}}$$

angenommen wird, wenn V die Geschwindigkeit in einer Secunde, H, L und d die lothrechte Höhe, die Länge und den Durchmesser der Röhrenleitung, S aber die Summe der Sinusse sämmtlicher Krümmungen bezeichnen. Am vollständigsten hat v. Gerstner[3] diesen Gegenstand untersucht und dabei sowohl die obengenannten Versuche von Bossut und du Buat, als auch die von dem verstorbenen Fr. J. v. Gerstner angestellten berücksichtigt, wovon eine Reihe zugleich den Einfluſs der Temperatur des Wassers aufzufinden bestimmt ist. Da letztere für die geringen Unterschiede, die bei ge-

1 Elements of nat. Philos. T. I. p. 369.
2 Lehrbuch d. Hydraulik. S. 62.
3 Handbuch der Mechanik. Th. II. S. 175 ff.

wöhnlichen Wasserleitungen stattzufinden pflegen, füglich vernachlässigt werden kann, so findet er für die Geschwindigkeit des Ausflusses

$$V = \left\{ \frac{4gH}{1 + \frac{4L}{180d}} + \left[\frac{8gL}{18000d\left(1 + \frac{4L}{180d}\right)\sqrt{d}} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} - \frac{8gL}{18000d\left(1 + \frac{4L}{180d}\right)\sqrt{d}},$$

worin die gleichen Buchstaben dieselben Gröſsen, g aber die Fallhöhe in einer Secunde, alles nach niederöstreichischem Fuſsmaſse bezeichnen. Wollte man bei der Anwendung derselben auch auf den Widerstand Rücksicht nehmen, welchen die Biegungen der Röhren erzeugen, so findet v. GERSTNER mit Benutzung der durch DU BUAT angestellten Versuche, daſs die zur Ueberwältigung dieses Widerstands erforderliche Druckhöhe $h'' = 0{,}001\ S \cdot \frac{V^2}{4g}$ ist, welche Gröſse daher von der Fallhöhe abgezogen werden muſs, wenn man aus dieser die Geschwindigkeit finden will. Es ist aber für gerade Röhren

$$H = \frac{V^2}{4g} + \frac{4L}{180d}\left(\frac{V^2}{4g} + \frac{V}{100\sqrt{d}}\right),$$

und also für gekrümmte, bei denen S die Summe der Biegungswinkel der Röhren bezeichnet,

$$H' = \frac{V^2}{4g} + \frac{4L}{180d}\left(\frac{V^2}{4g} + \frac{V}{100\sqrt{d}}\right) + 0{,}001\,S\frac{V^2}{4g},$$

woraus der Werth von V gefunden wird. Eine Reduction auf anderweitige übliche Maſse ist unnöthig, da sie sowohl im Nenner als auch im Zähler vorkommen und daher sich wechselseitig ausgleichen; ebenso ist es überflüssig hinzuzusetzen, daſs die Geschwindigkeit des ausflieſsenden Wassers mit dem Flächeninhalte des Querschnitts der Röhren multiplicirt den Kubikinhalt des ausflieſsenden Wassers giebt. Endlich will ich nur noch hinzusetzen, daſs nach D'AUBUISSON[1] die Menge des in einer Secunde ausflieſsenden Wassers nach Metern

---

1 Ann. Ch. Phys. T. XXXIV. p. 395.

$$M = 20{,}8 \sqrt{\frac{Hd^5}{L + 54\,d^4}}$$

beträgt, welche Formel, wie man sieht, auf die nämlichen Grundsätze gegründet ist und mit der von demselben Gelehrten für die Menge der ausströmenden Luft gefundenen grofse Aehnlichkeit hat[1].

Zu einer Vergleichung der hier mitgetheilten theoretischen Bestimmungen mit den wirklichen Leistungen bestehender Wasserleitungen giebt es wenige Thatsachen, weil selten Messungen zu diesem Behufe angestellt werden. Inzwischen erwähnt v. Gerstner zwei Beispiele dieser Art, das eine aus du Buat's angegebenem Werke, wonach eine Röhrenleitung von 18 Zoll Durchmesser, 3600 Fufs Länge und 14,5 Fufs Fallhöhe $\frac{1}{8}$ mehr Höhe hatte, als der gelieferten Wassermenge zugehörte, das andere aber nach Nordwall's[2] Angabe, wobei die Druckhöhe um $\frac{1}{12}$ geringer war, als der Theorie nach erfordert wird. Hieraus geht als Resultat hervor, dafs die durch v. Gerstner aufgestellte Formel für die Praxis allerdings genügt. Weit weniger findet sich die erforderliche Uebereinstimmung bei den beiden grofsen Wasserleitungen in Edinburg, die, aus sehr weiten gufseisernen Röhren bestehend, nach Leslie[3] nur ungefähr $\frac{3}{5}$ soviel Wasser lieferten, als die theoretische Bestimmung angiebt, welches als Folge einer mangelhaften Anlage betrachtet wird, vielleicht auch durch eine allmälige Verstopfung verursacht seyn mag.

Gute Röhrenleitungen für das Trinkwasser sind ein so nothwendiges Bedürfnifs und die Veranlassungen über ihre Zweckmäfsigkeit zu urtheilen sind so zahlreich, dafs es mir nach dem Plane unseres Werks nicht blofs nützlich, sondern

---

1 In Frankreich macht man meistens Gebrauch von der durch Prony gefundenen Formel, wonach für lange cylindrische Röhren $V = 26{,}79 \sqrt{\frac{dH}{L}}$ und also $M = 26{,}79\,\frac{\pi}{4}\,d^2 \sqrt{\frac{dH}{L}}$ in metrischem Mafse ist; nach Egault in Comte de Chabrol Recherches statistiques de la ville de Paris. 1826. p. 4. soll aber der Ausdruck für M mit 0,7 multiplicirt werden, um mit der Erfahrung übereinzustimmen. Hachette Traité élém. des Machines. p. 107.

2 Maschinenlehre. Uebers. von Blumhof. Berl. 1804.

3 Elements of nat. Phil. T. I. p. 374.

sogar nothwendig scheint, noch einige praktische Bemerkungen über dieselben hinzuzufügen, wenn gleich gröfsere Anlagen dieser Art die Mitwirkung eines erfahrenen Hydrotecten erfordern.

a) Eiserne Wasserleitungen.

Die gröfsten und wichtigsten Wasserleitungen bestehn aus gufseisernen Röhren, deren Länge etwa 4 bis 15 Fufs beträgt und deren Weite der Menge des zu fördernden Wassers angemessen ist. Ihre Zusammenfügung geschieht bei den kleinern vermittelst des Ineinandersteckens. Zu diesem Behufe haben die Röhren am einen Ende einen Kopf, welcher bei einer Länge von etwa 3 Zoll gerade so viel erweitert worden ist, dafs das andere Ende einer zweiten Röhre sich bequem hineinschieben läfst. Zum Verstopfen der hierbei bleibenden Oeffnungen oder des Spielraums kann man in Unschlitt getränktes Werg anwenden, meistens bedient man sich dazu aber eines fetten Kittes, welcher aus 70 ℔ Pech, 30 ℔ Ziegelmehl, 20 ℔ Trafspulver und 8 ℔ Unschlitt besteht; statt des Pechs allein können mit gröfserem Nutzen auch 40 ℔ Harz und 30 ℔ Schwefel genommen werden. Man läfst die schmelzbaren Substanzen in einem Kessel zergehn, indem man das Unschlitt zuletzt hinzusetzt und alles durch Umrühren bei gelinder Wärme zu einer gut gemischten Flüssigkeit vereinigt und dann erst das Pulver genau damit vermengt. Von der erstarrten und zerschlagenen Masse wird demnächst soviel in einem geeigneten Gefäfse zerlassen, als der jederzeitige Verbrauch erfordert. Diese Zusammenfügung ist jedoch die schlechtere, weil organische Stoffe sich in der feuchten Erde und im Wasser allmälig auflösen. Eine andere Ausfüllung der Zwischenräume geschieht dadurch, dafs man sie unten mit etwas in Unschlitt getränktem Werg verstopft und den obern Raum mit Blei vollgiefst. Diese Methode, worüber mir noch keine Erfahrungen bekannt sind, scheint mir nicht empfehlenswerth, da beide Metalle nothwendig galvanisch auf einander reagiren müssen, wodurch die ohnehin nachtheilige Oxydirung des Eisens ausnehmend befördert wird. Die ganze Methode des Ineinandersteckens hat aber endlich noch den Nachtheil, dafs ein schadhaftes Rohr nicht herausgenommen und durch ein neues ersetzt werden kann. Letzterem Uebel wird dadurch

begegnet, dafs man auf längere oder kürzere Strecken einzelne Röhren ohne einen solchen angegossenen Kopf zwischenlegt, die mit ihren Enden aneinander stofsen und vermittelst eines breiten, über die Fuge geschobenen Ringes, einer Muffe, verkittet werden. Statt des Kittes können die Fugen dieser eingesteckten Röhren auch vermittelst hölzerner, in Theer eingetauchter Keile oder eines eingetriebenen bleiernen Ringes verstopft werden. Die gröfsten gufseisernen Röhren haben an jedem Ende einen auf ihre Axe lothrecht hervorstehenden Rand mit auf einander passenden Löchern, durch welche man eiserne Schrauben steckt, um je zwei Ränder nach zwischengelegter Bleiplatte, die an jeder Seite mit einer in Theer getauchten Leder- oder Filzscheibe versehn ist, fest zusammenzuziehn.

Gufseiserne Röhren würden allen Forderungen vollkommen genügen, wenn nicht ihrer Anwendung einige Schwierigkeiten entgegenständen, welche jedoch nicht bedeutend genug sind, um in allen denjenigen Fällen von ihnen Gebrauch zu machen, wo das Wasser einen bedeutenden Druck ausübt, indem sie dann nicht blofs vorzugsweise, sondern fast ausschliefslich gewählt werden müssen. Die ihren Gebrauch erschwerenden Hindernisse sind 1) die Ausdehnung durch Wärme. Wo es möglich ist, legt man sie 4 bis 6 Fufs tief in die Erde, und wenn dann die Quellen, aus denen sie das Wasser erhalten, zu den aus gröfserer Tiefe entspringenden gehören, die ihre Temperatur im ganzen Jahre nicht merklich ändern und diese dann den Röhren mittheilen, so kommt der Einflufs der Wärme nicht sehr in Betrachtung, auch geben die zusammengeschraubten soviel nach, als die Ausdehnung durch den geringen Unterschied der Wärme beträgt. Liegen die Röhren dagegen flach oder auf der Erdoberfläche, so dürfen sie überhaupt nur wenige Grade unter den Gefrierpunct des Wassers erkaltet werden, so weit nämlich ihr Widerstand hinreicht, das Wasser am Gefrieren zu hindern, weil sonst das entstehende Eis bei 12 bis 20° C. unter 0 auch die stärksten zersprengen könnte. Dennoch aber kann der Unterschied der Wärme, den sie im Winter, in kühlen Nächten und durch den unmittelbaren Einflufs der Sonnenstrahlen annehmen, bis 25° C. steigen, und da die Längenausdehnung hierfür 0,000277 beträgt, so müssen sie sich auf 1000 Fufs

Länge um 3,324 Zoll mit einer alle Bande der Cohäsion zerreifsenden Kraft ausdehnen. Man versieht sie daher in geeigneten Absätzen mit Compensatoren, unter denen die von Hachette angegebenen und zu Paris in Anwendung gebrachten am vorzüglichsten sind, wie schon aus der Ansicht der Figur genügend erhellt. Der Kopf der einen Röhre B erhält noch einen zweiten weitern m m' mit einem flachen Ringe, in welchem die Schrauben s s' festsitzen, die den kurzen, gleichfalls mit einem flachen Ringe versehenen Cylinder n n' anziehn, um die Lage des in Unschlitt getränkten Hanfs a a' fest zwischen die Fugen zu drücken und diese dadurch wasserdicht zu verschliefsen. Das Ende der eingesteckten Röhre A wird dann zuerst auf die Länge einiger Zolle glatt abgedreht, demnächst mit dem Hanfe umwickelt und eingesteckt, worauf es sich in dieser zweckmäfsigen Liederung frei hin und her bewegen kann.

Fig. 249.

2) Ein zweiter Uebelstand bei gufseisernen Röhren ist das leichte Gefrieren des Wassers in ihnen, dem sie wegen ihres starken Wärmeleitungs-Vermögens vorzugsweise ausgesetzt sind und wogegen sie durch die bereits genannten Mittel nicht allezeit gesichert werden. Es folgt aber nicht, dafs sie durch das Eis jederzeit zersprengt werden, indem dasselbe bei wachsender Ausdehnung sich vielmehr leicht anderweitig einen Ausweg sucht; auch erfolgt das Wiederaufthauen bei ihnen eben wegen ihrer grofsen Wärmeleitung schnell; soll es aber künstlich erzielt werden, so müssen die Mittel hierzu nach der Individualität der Anlage gewählt werden, und es ist im Allgemeinen die Anwendung des heifsen Wassers oder Dampfs am geeignetsten.

3) Gufseiserne Röhren sind dem Rosten leicht ausgesetzt, jedoch erfolgt die Zerstörung hierdurch bei ihnen weit minder leicht, als beim Schmiedeeisen, ein Umstand, welcher der Anwendung der genannten Schrauben zum Zusammenfügen der einzelnen Täuchel sehr entgegensteht, weswegen es räthlich seyn dürfte, die hervorstehenden Ränder vermittelst gufseiserner Klammern zu vereinigen, die obendrein wegen ihres geringen Preises sich sehr empfehlen; doch ist mir nicht bekannt, dafs man sie irgendwo in Anwendung gebracht habe. Zur Sicherung überzieht man die bereits zusammengefügten Röhrenleitungen mit einem Firnifs, welcher aus 4 ℔ ge-

kochtem Theer besteht, dem man vor dem Gebrauche 1 ℔ Kohlenstaub und 2 ℔ Kalkmehl zusetzt, auch legt man die Röhren zur Verhütung des Rostens in Kohlenpulver über eine Lage Sand, bestreut sie von oben mit Kohlenpulver und darüber mit Sand und deckt sie dann erst mit Erde zu. Daſs man sowohl zum Kitte, als auch zum Firnisse statt des gewöhnlichen Theers den bei der Fabrication des Leuchtgases aus Steinkohlen gewonnenen und noch besser Bergtheer anwenden könne, wenn beide Substanzen zu haben sind, mag hier nur beiläufig erwähnt werden.

4) Die erdigen Theile, wovon das Wasser, man darf wohl sagen ohne Ausnahme, eine gröſsere oder geringere Menge mit sich führt, inkrustiren die guſseisernen Röhren inwendig, indem sie sich mit dem gebildeten Eisenoxydhydrate zu einer sehr harten Masse vereinigen, dadurch die Röhren verengern und endlich ganz verstopfen. Enthält das Wasser viel Kalk, wie nicht selten der Fall zu seyn pflegt, so erfolgt dieses sehr bald und erfordert dann eine Reinigung. Meistens ist diese sehr kostspielig und wurde vor einigen Jahren in Paris für die dortigen Wasserleitungen zu 100000 Francs veranschlagt, geschah aber nachher durch D'Arcet für 25000 Fr. durch hineingebrachte Salzsäure. Die Wasserleitungen in Prag werden alle 4 bis 6 Jahre vermittelst einer federnden Birn an einem langen Stiele gereinigt, die man in die Röhren einbringt und die angesetzte Kruste damit fortschafft, indem man den Stiel durch angesetzte Stücke bis auf 10 Klaftern verlängert.

b) Bleierne Wasserleitungen.

Man verfertigt jetzt die bleiernen Röhren zu einem verhältniſsmäſsig sehr geringen Preise (20, sogar 18 Fl. den Centner) und nur von 1 bis 2 Lin. Metalldicke, so daſs Wasserleitungen aus ihnen bei weitem nicht so kostbar sind, als früher. Sie gewähren auſserdem den Vortheil, daſs sie sich bei nicht allzugroſsem Durchmesser leicht nach allen Richtungen biegen lassen, und auſserdem geschieht das Legen derselben leicht, indem man bloſs nöthig hat, die 20 und mehr Fuſs langen einzelnen Theile zusammenzulöthen, wozu noch der Umstand kommt, daſs nach erfolgter Abnutzung der Rest des Materials wieder veräuſsert werden kann. Sie haben je-

doch zwei Fehler, die ihre Anwendung auf längere Strecken (also mit Ausnahme kurzer Stücke, die ihrer Biegsamkeit wegen oft kaum entbehrlich sind) gänzlich verbieten. Zuerst sind sie nicht hinlänglich zuverlässig, indem sie ohne bedeutende Metalldicke, die sie dann sehr kostbar macht, zu geringe Dauer haben. Ich selbst habe im Jahre 1818 eine Länge von 156 Fuſs neu legen lassen, die jedoch im vergangenen Sommer schon durch eine andere ersetzt werden muſste, und eine andere längere zeigt sich bereits an so vielen Stellen schadhaft, daſs sie nächstens ganz unbrauchbar seyn wird. Weit wichtiger aber ist der Bleikalk, der sich im Innern der Röhren bildet, dem Wasser mitgetheilt wird und der Gesundheit Gefahr bringt, weswegen längere Röhrenleitungen dieser Art überall nicht geduldet werden sollten.

c) Hölzerne Röhrenleitungen.

Man findet die hölzernen Wasserleitungen noch sehr häufig, weil ihre Verfertigung höchst einfach und leicht ist. Selten werden sie aus Eichenholz verfertigt, meistens aus Fichten- oder Kieferstämmen, in Edinburg und überhaupt in England und Schottland häufig aus Erlenstämmen. Je nach dem Preise des Holzes und der erforderlichen Weite der Täuchel wählt man dünnere oder dickere Stämme, durchbohrt diese der Länge nach, sägt sie an den Enden vertical auf ihre Längenaxe zu einer ebenen Fläche ab, treibt einen an beiden Enden scharfen, in der Mitte etwas erhabenen, 3 bis 4 Zoll langen und etwas mehr als die Röhrenöffnung weiten Ring von Eisen so hinein, daſs dadurch beide Enden wasserdicht verbunden werden, und legt sie auf diese Weise entweder in oder über der Erde. Bei starkem Drucke müssen sie eine bedeutende Holzdicke haben und werden dann zuweilen noch auſserdem mit eisernen Bändern beschlagen. Sie haben jedoch den Nachtheil, daſs sie sehr bald anfangen zu modern und bei weiter fortschreitender Zerstörung dem Wasser einen Theil der modernden Stoffe mittheilen, was der Gesundheit nachtheilig ist, und auſserdem ist das Modern derselben in den Städten, wo oft mehrere solche Leitungen neben einander liegen, ein Hinderniſs der Salubrität, nicht zu gedenken, daſs die hierdurch häufig erforderlichen Reparaturen ein Aufreiſsen des Steinpflasters und Sperren der Straſsen zur

Folge haben. Wie lange die verschiedenen Holzarten ausdauern, darüber ist es schwer, genügende Erfahrungen aufzufinden, und aufserdem hängt dieses sehr ab von der Dicke der Stämme, ihrer Gesundheit, dem Boden, worauf sie gewachsen, und der Zeit, wenn sie gehauen sind. Nach v. Gerstner dauern die Röhren aus Kieferstämmen zu Prag nur 6 Jahre, mir sind jedoch andere Erfahrungen bekannt, wonach sie in Gemäfsheit ihrer Güte und Stärke zwischen 3 und 20 Jahren aushalten. Am vortheilhaftesten ist es daher, gesunde und möglichst starke Stämme von 8 bis 10 par. Zoll Durchmesser, die aufserdem sehr harzig und vor dem Safttriebe gehauen sind, zu wählen, weil diese durch ihre längere Dauer die Anlagskosten am besten wieder ersetzen. Bei den hölzernen Täucheln ereignet es sich zuweilen, dafs sogenannte Zöpfe darin wachsen, die sie bedeutend verengern oder gar gänzlich verstopfen. Nach den genauen Untersuchungen des Garteninspectors Metzger in Heidelberg sind dieses blofs Wurzelfasern; die feinen Wurzeln verschiedener Gewächse, namentlich der Nesseln, selbst auch mehrerer Baum- und Straucharten, dringen nämlich durch feine Risse in den Röhren, ziehen sich nach der Richtung des fliefsenden Wassers hin und wachsen zu beträchtlich dicken, besenartig vereinten und bis 20 Fufs Länge erreichenden Zöpfen.

d) Thönerne Wasserleitungen.

Wasserleitungen von gebrannten erdenen Täucheln sind sehr alt, denn man findet noch Reste der von den Römern angelegten. Letztere bestehn meistens aus länglichten vierkantigen Prismen von 1 bis 1,5 F. Länge und 6 bis 10 Zoll Durchmesser im Lichten, die blofs an einander gestofsen und vermuthlich mit wasserdichtem Mörtel eingemauert wurden; es giebt jedoch auch runde Röhren, wie namentlich solche noch in Wiesbaden aus jener Zeit vorhanden seyn sollen[1]. Aus

---

1 Nach den Nachrichten, welche Leupold in Theat. mach. hydrot. Leipz. 1774. fol. p. 72 ff. aus den alten Schriftstellern gesammelt hat, waren thönerne Röhren bei den Griechen und Römern sehr gebräuchlich. Sie waren meistens rund, 2 Fufs lang, hatten eine Stärke von zwei Finger Dicke bei verschiedenem Durchmesser, wurden in einander gesteckt und die Fugen durch Kalk, welcher

spätern Zeiten findet man deren viele von unbestimmtem, mehrere Jahrhunderte erreichenden Alter; alle, die ich selbst von so langer Dauer, einige bewundernswürdig gut erhalten, gesehn habe, bestehn aus einer hellern oder dunklern röthlich gelben oder gelbröthlichen, stark gebrannten, aber nicht glasigen oder nur porzellanartig zusammengesinterten Masse, weswegen diese Art mir den Vorzug zu verdienen scheint. Die zu ihrer Fabricirung am meisten geeignete Masse ist ein möglichst von Kalk freier und nicht sehr kieselhaltiger Thon, welcher das harte Brennen ohne Verglasung aushält. Sollen jedoch die Röhren einen höhern Grad der Brauchbarkeit haben, so müssen sie 3 bis 5 Fufs lang und mit einer Maschine geprefst seyn, indem man den gehörig zubereiteten Thon in eine hinlänglich starke Hülle bringt, und einen eisernen Dorn, welcher zugleich den Kopf mit formt, durch bedeutende mechanische Gewalt hineinprefst, wobei zugleich für gleichmäfsige Dicke der Wandungen gesorgt werden mufs. Man verwendet zu gewöhnlichen Wasserleitungen auch wohl ungefähr 2 Fufs lange, an einem Ende zum Einstecken einer folgenden konisch erweiterte, mit der Hand durch Töpfer geformte Röhren aus Steingutmasse, allein diese sind minder brauchbar, theils weil der Kitt weit weniger fest auf ihrer Oberfläche haftet, theils weil sie durch ihre Sprödigkeit leicht Risse bekommen, die das Wasser durchlassen oder auch den eben erwähnten Wurzelfasern das Eindringen gestatten.

Neuerdings hat man an verschiedenen Orten angefangen, die gemeinen Wasserleitungen in Städten und Dörfern aus solchen Täucheln zu verfertigen. Die Vortheile, die sie gewähren, sind zuerst ihr geringer Preis, indem man die durch eine Maschine geprefsten und gut gebrannten von 3 bis 4 Fufs Länge, im Mittel 2 Zoll Weite und mit einem 3 Zoll hohen Kopfe den Fufs zu 6 bis 8 Kreuzer rhein. sehr gut haben kann[1]. Der gröfste Vorzug derselben besteht in ihrer ganz

mit Oel angemacht war, verkittet. Aufserdem ummauerte man dieselben.

1 Sie werden hier in Heidelberg von vorzüglicher Güte, in noch weit gröfserer Menge aber und von beliebigem Durchmesser durch Bühl zu Waiblingen im Würtemberg'schen verfertigt. Auch Augustin Noworny in Prag hat auf die Verfertigung seiner vortrefflichen gepress-

eigentlich unbestimmbaren Dauerhaftigkeit, da einige erweislich sich fast 2000 Jahre unversehrt in der Erde erhalten haben. Hierzu kommt, dafs sie das durchfliefsende Wasser höchst rein erhalten und dasselbe vor allen andern am wenigsten leicht gefrieren lassen.

Von den wichtigern mir bekannt gewordenen thönernen Röhrenleitungen erwähne ich nur folgende. Leupold[1] empfiehlt sie wegen der oben genannten Vorzüge sehr, giebt eine Anweisung, wie sie geformt und gebrannt werden müssen, und erzählt, dafs sie früher in Sachsen sehr gebräuchlich gewesen sind. Aus den ältern Zeiten befinde sich eine bei Leipzig im Jahre 1560 angelegte, die im deutschen Kriege zerstört worden sey, wovon aber die Röhren sich noch bis zu seiner Zeit so unversehrt erhalten hätten, als ob sie so eben erst in die Erde gegraben worden wären, so dafs man leicht die ganze Leitung wieder herstellen könne. Auch hier in Heidelberg befinden sich noch mehrere Reste solcher Wasserleitungen, namentlich eine aus dem Anfange des 17ten Jahrhunderts, wovon die Röhren mit einem noch jetzt sehr harten Mörtel verkittet in die blofse Erde gelegt und zugedeckt, sie selbst aber noch so gut erhalten sind, als ob sie erst seit kürzester Zeit verfertigt wären. Im Schlofsgarten zu Prag werden seit einiger Zeit mit gutem Erfolge die hölzernen, so leicht modernden Wasserleitungen durch thönerne ersetzt, die dort an einigen Stellen einem Wasserdrucke von 8,5 Klaftern bei 2 Zoll Durchmesser und $\frac{1}{8}$ Zoll dicken Wandungen Widerstand leisten[2]. Diese Anlagen gehören also zu den neuesten Versuchen dieser Art, deren viele an den verschiedensten Orten neuerdings mit günstig ausgefallenen Resultaten gemacht worden sind, namentlich im Würtemberg'schen, wovon aber das Publicum noch keine allgemeiner verbreitete Kenntnifs erhalten hat.

Die Anlegung thönerner Wasserleitungen erfordert zwar keineswegs höhere technische Kenntnisse, dagegen aber weit mehr Vorsicht, Sorgfalt und pünctliche Genauigkeit, als alle andere Arten verlangen, und darf daher keineswegs rohen und

---

ten Röhren ein zehnjähriges Patent erhalten. S. Jahrbücher des k. k. polytechn. Institutes in Wien. Th. VII. S. 363.

1 Theatrum mach. hydrot. p. 74.

2 V. Gerstner Handbuch der Mechanik. Th. II. S. 249.

ganz ungebildeten Arbeitern überlassen werden, wie dieses leicht bei den gemeinen hölzernen und auch im Ganzen bei den eisernen geschehn kann, insofern es meistens nur darauf ankommt, bei der Zusammenfügung hinlängliche Kraft anzuwenden, die noch obendrein unzeitig verschwendet in der Regel das Material doch nicht zu verderben vermag. Ganz anders ist es dagegen mit der Ausführung thönerner Wasserleitungen, und die hierbei nothwendige vorsichtige Behandlung mag wohl verursacht haben, dafs man die frühere häufige Anwendung derselben später fast ganz aufgegeben und statt ihrer die hölzernen, ungleich schlechtern, in Anwendung gebracht hat. Im Allgemeinen halten zwar die mit einer geeigneten Maschine geprefsten und gut gebrannten thönernen Täuchel von 2 Zoll innerem Durchmesser und 6 Linien Dicke der Wandungen einen bedeutenden Druck aus, den man unbedenklich zu 60 bis 100 Fufs annehmen kann, allein sie sind zugleich spröde und insbesondere die längern, wegen der geringern Anzahl der zu verkittenden Fugen bei weitem die vorzüglichsten, zerknicken daher leicht bei unvorsichtiger Behandlung in der Mitte. Vor allen Dingen mufs man daher Bedacht nehmen, dafs sie eine feste Unterlage erhalten und an keiner Stelle hohl liegen, indem sie dann durch eine zwei bis 3 Fufs hohe Lage Erde und Steinpflaster geschützt den schwersten Frachtwägen hinlänglichen Widerstand leisten. Bei denjenigen Strecken, die durch Felder und Wiesen fortgehn, müssen sie so tief liegen, dafs sie beim Pflügen, Graben und Hacken, desgleichen beim Ausgraben der Bäume und Stauden nicht beschädigt werden, auch ist es räthlich, die Unterlage vorher festzustampfen, damit sie sich an keiner Stelle durch ungleiche Belastung senken, weil die einmal erhärteten Anlagen durchaus keine Biegung dulden. In den Strafsen, und überhaupt wo es auf gröfsere Sicherheit ankommt, thut man wohl, ihnen eine feste Unterlage durch eine Mauer von 0,5 bis 1 Fufs hoch zu geben, auf diese erste eine Lage aus Hohlziegeln und dann in die hierdurch erhaltene Vertiefung die Röhrenleitung selbst zu legen, letztere an beiden Seiten durch eine Reihe Mauerziegel zu schützen und von oben mit Hohlziegeln zu bedecken, alles dieses durch guten Mörtel zu verbinden und dann erst mit Erde zu bedecken. An denjenigen Orten, wo der Mörtel

wegen der eigenthümlichen Beschaffenheit des Kalks in feuchter Erde nicht gut erhärtet, ist es räthlich, demselben etwas Trafspulver zuzusetzen oder, wenn diese Substanz mangelt, den Kalk statt des Wassers mit einer Auflösung von Eisenvitriol zu löschen, wodurch man nach dem Vorschlage von Prechtl[1] und bereits im Grofsen angestellten Versuchen nach Beimischung von feinem Sande einen sehr guten wasserdichten Mörtel erhält.

Zur Verkittung der Fugen nimmt man bei solchen Leitungen, in denen das Wasser ohne merklichen Druck fortfliefst, blofs guten, durch Wasser gar nicht oder nur wenig auflöslichen Mauermörtel; sobald aber ein etwa drei bis vier Fufs erreichender Druck vorhanden ist, mufs man auf ein besseres Bindemittel um so mehr bedacht seyn, als man eine längere Dauer der Anlage beabsichtigt. In den meisten Fällen wird neuerdings ein fetter Kitt angewandt, dessen Bestandtheile zwar der Qualität und Quantität nach verschieden, im Wesentlichen aber dieselben sind, die ich oben für das Verkitten der eisernen angegeben habe. Leupold[2] empfiehlt nach de Serres einen Kitt, welcher aus zerlassenem Pech zu 2 Theilen und einem gesiebten Pulver zu 1 Theile besteht, denen man noch etwas Nufsöl oder Leinöl oder Unschlitt zusetzt und dann die Bestandtheile gut untereinander rührt. Das Pulver wird aus gleichen Theilen Bolus, feinem Flufssand, Glas und Eisenschlacken und so viel Ziegelmehl, als diese zusammen betragen, in Gestalt einer feinen gleichmäfsigen Mengung bereitet; das Ganze wird in Wasser gegossen, worin der erweichte und zähflüssige Kitt sogleich erhärtet, den man in Stücke zerschlägt, für den Gebrauch wieder schmelzt und auf die erwärmten Röhren aufträgt. Ein anderer von demselben vorgeschlagener kalter Kitt besteht aus dem genannten Pulver, das man mit Nufsöl oder Leinöl ziemlich dünn anmacht, etwas zerschnittenen Werg und ein wenig Unschlitt, dann aber so viel an der Luft zerfallenen durchgesiebten Kalk zusetzt, bis die Masse sich nicht mehr an das Röhrholz und an die Finger anlegt. Dieser Kitt wird

---

1 Jahrbücher des Wiener polytechn. Instituts. Th. II. S. 558. Bei mangelndem Trafs leistet auch Cement sehr gute Dienste.

2 Theat. mach. hydrot. p. 77.

um die Enden der Röhren, wie Wachs, gelegt und nach dem Einstecken fest zwischen die Fugen gedrückt, wobei es vortheilhaft ist, vor dem Einlassen des Wassers einige Tage die Luft darauf einwirken zu lassen. G. Meyer[1] giebt folgenden von Hancock gebrauchten Kitt an. Es werden 2 ℔ Wachs, 2,5 ℔ Leinöl, 12 ℔ weifses Pech, 18 ℔ schwarzes Pech und 1 ℔ Talg zusammengeschmolzen und vor dem Gebrauche 16 ℔ Gyps oder zerfallener Kalk zugesetzt; eine gröfsere Elasticität kann aber noch durch das Hinzuthun von 2 ℔ in 5 Quart Terpentinöl aufgelöstes Federharz erreicht werden; allein letzterer Zusatz ist zu kostbar und ohne diesen der Kitt zu sehr einer Zerstörung durch Wasser unterworfen. Ungleich besser ist dagegen eine von jenem empfohlene Mischung, nämlich 6 ℔ Steinkohlentheer bis zur Hälfte eingedickt, 1 ℔ Schwefel und ½ ℔ Unschlitt, wozu man kurz vor dem Gebrauche noch 2 ℔ Quarzmehl oder Schwerspathpulver setzt. Unter allen diesen ist der durch Leupold angegebene entschieden der beste, und der eben für eiserne Röhren empfohlene der wohlfeilste bei hinlänglicher Dauerhaftigkeit, obgleich alle fette Kitte mit der Zeit in der Erde zerstört werden.

Vermuthlich bedienten sich die Römer zu ihren unzerstörbaren Wasserleitungen eines Mörtels, welcher aus Kalk durch Zusatz eines vulcanischen Products, namentlich der Puzzolane, bereitet war; seitdem haben Erfahrungen an Cisternen, wasserdichten Kellergewölben und sonstigen Wasserbauten dargethan, dafs der ächte rheinische oder holländische Trafs mit Kalk gleichfalls ein durch den Einflufs des Wassers unzerstörbares Bindemittel liefert, dessen man sich daher mit grofsem Vortheil auch bei thönernen Wasserleitungen bedienen kann[2]. Das Mischungsverhältnifs beider Bestandtheile ist nach vielfachen Proben sachkundiger Baumeister nach der Beschaffenheit des Kalks verschieden, indem allgemein der

1 Beschreibung und Abbildung der neuesten Erfindungen und Verbesserungen in Betreff der Wasserleitungsröhren u. s. w. Leipz. 1831. 8. S. 6. 33.

2 Ueber Mörtelbereitung mit Trafs vergl. Sganzin Grundsätze der Strafsen-, Brücken-, Canal- und Hafenbaukunde. D. Ueb. Regensb. 1832. 8. S. 113 ff.

magerste Kalk die geringste Menge von Trafs erfordert, ein weiterer Zusatz von Sand aber mindestens nicht nützlich ist, wovon mich eigene Versuche gleichfalls überzeugt haben; inzwischen darf man dem Gewichte nach 1 Th. gelöschten Kalk von der Consistenz der Butter und 2 Th. Trafspulver als ein genähert richtiges Verhältnifs betrachten. Sehr wesentlich ist dann aber eine innige Mengung beider Theile unmittelbar vor dem Gebrauche, weil die Masse selbst nach einigen Stunden schon beträchtlich zu erhärten anfängt, nach 12 bis 24 Stunden aber schon gänzlich unbrauchbar ist und selbst unter Wasser, wenn dieses den Kalk nicht mehr auflöst, steinhart wird. Deswegen mufs der Kalk erst mit Wasser bis zur Dünnflüssigkeit der Buttermilch angemacht, dann der Trafs zugesetzt und die Masse so durchgearbeitet werden, dafs das Ganze einen zähen, aber immer dem Drucke leicht weichenden Brei abgiebt. Hiermit werden die Röhrenenden und die innern Wandungen der Köpfe, beide vorher genetzt, bestrichen, die Enden eingedrückt, bis sie den Boden des Kopfs berühren, dann wird der herausgequollene Kitt stark in die Fugen gedrückt, was mit Hülfe eines geeigneten Werkzeugs und mit den Fingern, die zur Verhütung des fressenden Einflusses von frischem Kalke durch Handschuhe geschützt werden müssen, geschieht, zuweilen wird über den Kitt noch ein thönerner Ring geschoben, welcher auf der Röhre verschiebbar mit dem Rande des Kopfs in Berührung gebracht oder gar etwas über ihn fassend den Kitt festdrückt[1]. Eine mindestens nicht überflüssige und auf jeden Fall sehr sichernde Vorsichtsregel endlich ist, vor dem Einstecken einer folgenden Röhre in die vorhergehende einen Putzen Werg an einer starken Schnur zu stecken und diesen nach dem Einstecken und Andrücken des Kittes durch das folgende Rohr zu ziehn, um von Innen den Kitt stark anzudrücken und zu verhüten, dafs kein innerer Ring von Trafs-

---

1 Solcher über die Fugen geschobener Ringe bedient man sich auch, wenn ein Täuchel schadhaft geworden ist und herausgenommen werden mufs. In diesem Falle wird der schadhafte zerschlagen, das Ende desselben nebst dem Trafs aus dem Kopfe des vorhergehenden vorsichtig durch einen Meifsel ausgehauen und ein neuer, in der Mitte durchgesägter, eingezogen, dessen beide Stücke vermittelst eines solchen übergeschobenen Rings verkittet werden.

kitt gebildet werde, welcher sonst erhärten und den Durchgang des Wassers zum Theil oder ganz verhindern würde. Die auf solche Weise gefertigten thönernen Leitungen können sofort mit Erde, selbst mit sehr feuchter, bedeckt werden, indem der Trafskitt auch dann erhärtet; man kann sie aber zum allmäligen Erhärten erst einige Tage offen lassen, dann müssen die Röhren aber täglich zweimal und bei stärkerer Wärme und Trocknifs bis sechsmal täglich vermittelst einer Giefskanne mit Wasser bespritzt werden, weil sonst der Trafskitt leicht rissig wird; mit dem Anlassen des Wassers mufs man jedoch nach dem Verhältnisse der gröfsern oder geringern Druckhöhe 14 Tage bis 3 Monate warten, während welcher Zeit die Leitung in feuchter Erde liegt und es sogar vortheilhaft ist, nach dem Verlaufe der ersten etwa 4 Tage und dann wiederholt in ungefähr gleichen Zwischenräumen Wasser, jedoch ohne bedeutenden, drei bis vier Fufs nicht übersteigenden Druck hindurchfliefsen zu lassen.

Bei der Anlegung der Röhrenleitungen kommen noch einige Gegenstände in Betrachtung, die um so mehr beachtet werden müssen, je gröfser solche Anlagen sind. Dahin gehört

1) eine genügende Prüfung der Stärke der anzuwendenden Röhren. Diese wird jedoch nur dann erfordert, wenn der Druck so bedeutend ist, dafs man durch ein blofses Nachsehn derselben nicht zur Ueberzeugung ihrer Haltbarkeit gelangen kann, sondern durch das Probiren der Stärke jeder einzelnen von der Abwesenheit schädlicher Fehlstellen versichert seyn mufs. Das Probiren der eisernen Röhren, bei denen es vorzüglich nöthig ist, geschieht in der Regel gleich in den Eisenwerken, um die unbrauchbaren nicht zurückzuerhalten, mit einer aufgesetzten Presse, und allezeit bis zu einem höhern Drucke, als welchen dieselben künftig auszuhalten haben.

2) Aus dem Wasser entwickelt sich allezeit Luft[1], die sich in den Krümmungen der Röhrenleitungen ansammelt und das Wasser am Fliefsen hindert. Ist es daher nöthig, dafs die Menge des geleiteten Wassers nicht vermindert werde, so mufs man diese Luft an den höhern Stellen durch ge-

---

1 Vergl. *Quellen* S. 1070.

eignete Luftständer wegschaffen. Steigt das Wasser daselbst nicht bedeutend, so genügt ein bloſses ausgehendes, gegen hineinfallende Gegenstände geschütztes Rohr, hat aber das Wasser auch dort noch eine bedeutende Spannung, so daſs es daselbst ausflieſsen würde, so muſs das Rohr unten mit einem Luftbehälter zum Ansammeln der Luft verbunden und oben mit einem Hahne verschlossen werden, der von Zeit zu Zeit geöffnet und nach dem Ausströmen der Luft wieder geschlossen wird. Einen selbstregistrirenden Mechanismus für diesen Zweck hat BETANCOURT angegeben. Dieser besteht aus einer kupfernen Kugel A, die in dem Behälter CD auf dem Wasser schwimmt und eine Stange mit einem Kegelventile α trägt, um die Oeffnung $\beta\beta$ gegen den Ausfluſs des Wassers zu verschlieſsen. Sammelt sich aber eine hinlängliche Menge Luft in dem Behälter, so sinkt die Kugel herab und verstattet der Luft einen freien Ausgang, die durch feine in den Seitenwänden des Kastens CE angebrachte Oeffnungen ausströmt, ohne daſs von auſsen Substanzen in die Röhren kommen können.

Fig. 250.

3) Alle Röhrenleitungen haben Spunde, die auf kürzere oder längere Strecken angebracht sind und dazu dienen, um nachzusehn, ob irgendwo eine Beschädigung eingetreten ist, oder um etwaige Verstopfungen durch hineingebrachte Ketten, lange Faſsreifen und sonstige Mittel zu beseitigen. Bei den eisernen Wasserleitungen bestehn diese aus eigenen, zwischen zwei Röhren passenden Stücken, und zwar bei denen von kleinerem Durchmesser aus länglichten Kästen mit einer runden oder ein Parallelogramm bildenden Oeffnungen, die mit einem in Theer getränkten oder mit Hanf und Unschlitt umgebenen eichenen Klötzchen verschlossen werden, bei denen von gröſserem Durchmesser aber aus solchen, bei denen auf der gewöhnlichen Röhre ein kürzeres verticales Ende aufgesetzt ist, in welches auf gleiche Weise ein hölzerner Zapfen eingetrieben oder dessen Oeffnung durch einen aufgeschraubten Deckel verschlossen wird. Thönerne Wasserleitungen können zum bloſsen Nachsehn, ob das Wasser an der fraglichen Stelle noch flieſst, mit ähnlichen eingesetzten Stücken versehn werden, in denen sich eine nach Art eines Bouteillenhalses hervorragende, mittelst eines Korks zu verstopfende Oeffnung befindet; wenn dieses aber nicht genügt, so sind

aus Stein gehauene Spunde erforderlich, in deren Seiten die Enden zweier Röhren eingelassen werden und bis an eine von oben herab eingehauene Oeffnung reichen, die auf ähnliche Weise durch einen hölzernen Zapfen verschlossen wird. In der Regel sind die Spunde mit einem verticalen ausgemauerten Canale nach Art eines Schornsteins umgeben, den man oben mit einem steinernen Kranze versieht, durch einen eichenen Deckel verschliefst und zugleich als Nothbrunnen für Feuersgefahr einrichten kann. Hölzerne Täuchel lassen sich überall anbohren; auch kann man an beliebigen Stellen eine Oeffnung einhauen und wieder verspunden, weswegen sie der genannten Vorrichtungen nicht bedürfen.

4) Selten ist das Wasser so rein, dafs es nicht feine Theile Sand, Kalk oder sonstige Substanzen mit sich führen sollte, welche die Hahnen verderben und sich an den tiefsten Stellen der Leitungen auf eine unangenehme Weise anhäufen. Um diese auszuscheiden und fortzuschaffen bringt man Reinigungskasten an, die erforderlich geräumig und tief sind, um die niederfallenden Theile aufzusammeln und durch eine nahe über ihrem Boden angebrachte Oeffnung ausfliefsen zu lassen. Auch diese werden bei den eisernen Röhren von dem nämlichen Metalle, bei den thönernen aus Stein verfertigt und können auch in beiden Fällen oben mit einer gröfsern Oeffnung versehn seyn, die mit einer festgeschraubten Stein- oder Eisenplatte verschlossen und geöffnet wird, wenn man an diesen Stellen bequem zu den Röhrenöffnungen gelangen will, wobei sich von selbst versteht, dafs auch diese durch einen verticalen ausgemauerten Canal zugänglich seyn müssen.

Manche specielle Einrichtungen bei den Röhrenleitungen gehn aus ihren Eigenthümlichkeiten oder den besondern Absichten hervor, die man zu erreichen wünscht, zu deren Erzielung übrigens die Bekanntschaft mit den physikalischen Gesetzen bei vorhandenem technischem Talente ausreichen, die genauere Kenntnifs der gröfsern und berühmtern Anlagen aber, wie die Wasserleitungen zu London, zu Paris und in andern grofsen Städten, desgleichen diejenigen, welche grofse Fontainen und Wasserkünste speisen, erfordert ein tieferes und gründlicheres Studium[1]. *M.*

1 Vieles hierüber, nebst einer Nachweisung der Quellen findet

Rolle.

Scheibe; *Trochlea;* Poulie; *Pulley.*

Die Rolle ist nach den ältern Geometern eine der sechs einfachen Maschinen oder mechanischen Potenzen. Sie besteht aus einer (meistens hölzernen oder metallenen) kreisrunden Scheibe ADB, die um eine durch ihren Mittelpunct gesteckte Axe drehbar und an ihrem äufsern Rande mit einer vertieften Rinne zur Aufnahme des Seils versehn ist. Die Axe heifst auch Bolzen (*goujon, tourtillon*) und ist zuweilen durch zwei Löcher an beiden Enden einer Hülse gesteckt, die vermittelst eines Hakens aufgehängt wird.

Fig. 231.

Ueber die Rolle wird ein Seil gelegt, welches wegen der Ränder der Rinne nicht abgleiten kann und an dessen beiden Enden die Kräfte K und L wirken, welche die Rolle, jede nach ihrer Seite hin, umzudrehn streben, so dafs sich drei Puncte denken lassen, ein fester in C und zwei nach entgegengesetzten Seiten bewegte A und B, wonach also die Rolle zum Hebel gehört und für den Zustand des Gleichgewichts $CA \times K = CB \times L$ seyn mufs. Das Seil aber mag eine Richtung in der Ebene der Rolle haben, welche es wolle, also wenn dieselbe auch aus AK in DK übergeht, so bildet es allezeit eine Tangente an der Peripherie der Rolle im Angriffspuncte, und demnach ist die Entfernung vom Ruhepuncte stets gleich, weswegen denn für den Zustand des Gleichgewichts auch beide Kräfte unter sich gleich seyn müssen.

Man unterscheidet in der Mechanik die *unbewegliche* und die *bewegliche* Rolle. Die erstere, die unbewegliche, feste oder einfache Rolle (*poulie fixe*), die eben beschriebene, giebt keinen mechanischen Effect, insofern sich das Verhältnifs zwischen Kraft und Last an ihr nicht verändern läfst, vielmehr vermindert sie die Kraft stets genau um soviel, als der Reibungscoefficient beträgt, wenn Bewegung erzeugt werden soll, und ihr Nutzen besteht also blofs darin, dafs sie die Richtung der Kraft zu ändern und bequemer zu machen gestattet. Sollen nämlich Lasten gehoben werden, so wird die Kraft der Menschen am vortheilhaftesten in vertical herabgehender Richtung, die der Pferde in horizontaler angewandt, und selbst

man in Hachette Traité élém. des Machines und in Gerstner's Handbuch d. Mechanik Th. II.

todte Körper wirken durch ihr Gewicht blofs in lothrecht herabgehender Richtung, wobei die Rolle das bequemste Mittel abgiebt, diese insgesammt auf die angegebene Weise zu benutzen, ohne dafs an Geschwindigkeit etwas verloren wird. Auf welche Weise die Rollen diesemnach in den verschiedenen vorkommenden Fällen angewandt werden, ist zu bekannt, als dafs ich bei der Beschreibung verweilen sollte[1].

Die zweite Art der Rolle, die *bewegliche* (*poulie mobile*), trägt die Last L an der Hülse, in welcher ihr Bolzen steckt. Hierbei ist das eine Ende des Seils F befestigt, dieses läuft in der Rinne am untern Theile der Rolle hin, wird am andern durch eine Kraft K gehoben und trägt aufser der Last noch das Gewicht der Rolle, welches daher der Last hinzuaddirt werden mufs. Sind hierbei die Seile unter sich und mit der Richtung der Last parallel, so strebt die Kraft die Rolle zusammt der Last in jedem Augenblicke um den Punct C umzudrehn, wonach CA die Entfernung von L, CB aber die von K ist, wonach für den Zustand des Gleichgewichts $K:L = CA:CB = 1:2$ wird, oder die Kraft mufs die Hälfte der Last betragen. Hierbei gewinnt man allerdings an Kraft, verliert aber ebensoviel an Geschwindigkeit. Sind die Seile nicht parallel, so stellt das Gewicht der Last die Rolle so, dafs ihre Richtung den Winkel beider Seile FIK halbirt und bei I durch seine Spitze geht. In diesem Falle ist für den Ruhepunct C die Entfernung von K dem Perpendikel CG gleich, die Entfernung von L aber $= CH$, mithin ist für den Zustand des Gleichgewichts $K:L = CH:CG$. Es sind aber bei G und B rechte Winkel, folglich die Linien CG und AB parallel und die Winkel GCB und ABH einander gleich, die Dreiecke GCB und ABH einander ähnlich. Diesemnach erhält man

Fig. 252.

Fig. 253.

$$\tfrac{1}{2} CB : CG = \tfrac{1}{2} AB : BH,$$

$$\text{also} \quad CH : CG = AB : 2BH = CB$$

$$\text{und} \quad K : L = AB : CB = 1 : 2 \text{ Sin. } A.$$

Indem aber Sin. A stets kleiner als Sin. 90° oder als 1 ist, so mufs in dem Falle, dafs die Seile einander nicht parallel sind, die Kraft, welche einer Last $= 1$ das Gleichgewicht halten soll, stets gröfser seyn als $\tfrac{1}{2}$. Ist z. B. $A = 30°$, so ist

1 Leupold theatrum machinarum. Tab. XXXV.

2 Sin. A = 1, mithin die Kraft der Last gleich. In diesem Falle ist der Winkel beider Seile FIK = 120°, und bei diesem hört der Vortheil der beweglichen Rolle ganz auf; wird aber der Winkel noch gröſser, so muſs auch die Kraft gröſser und unendlich werden, wenn der Winkel 180° beträgt, weswegen es keine Kraft giebt, die dazu hinreicht, ein Seil völlig gerade zu spannen, wenn dasselbe mit irgend einer Last beschwert ist.

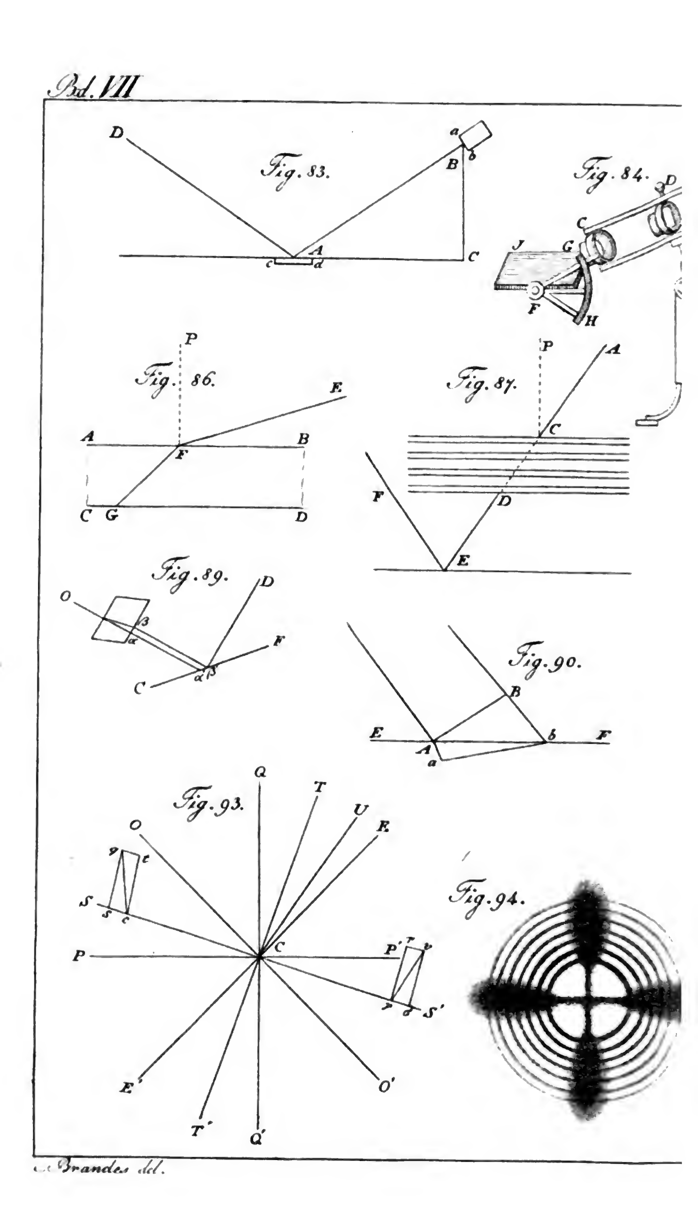
Will man vermittelst der Rolle noch gröſsere Lasten mit geringerer Kraft heben, so muſs man mehrere derselben verbinden, welches dann zum Flaschenzuge führt, worüber bereits gehandelt worden ist[1]. Soll ferner das Verhältniſs der Kraft zur Last für die wirkliche Bewegung vermittelst der Rolle aufgefunden werden, so ist dabei zugleich die Reibung zu berücksichtigen, die im Verhältnisse des Halbmessers der Axe zu dem der Rolle abnimmt[2], und die Steifheit der Seile, die noch eine specielle Untersuchung verdient.

M.

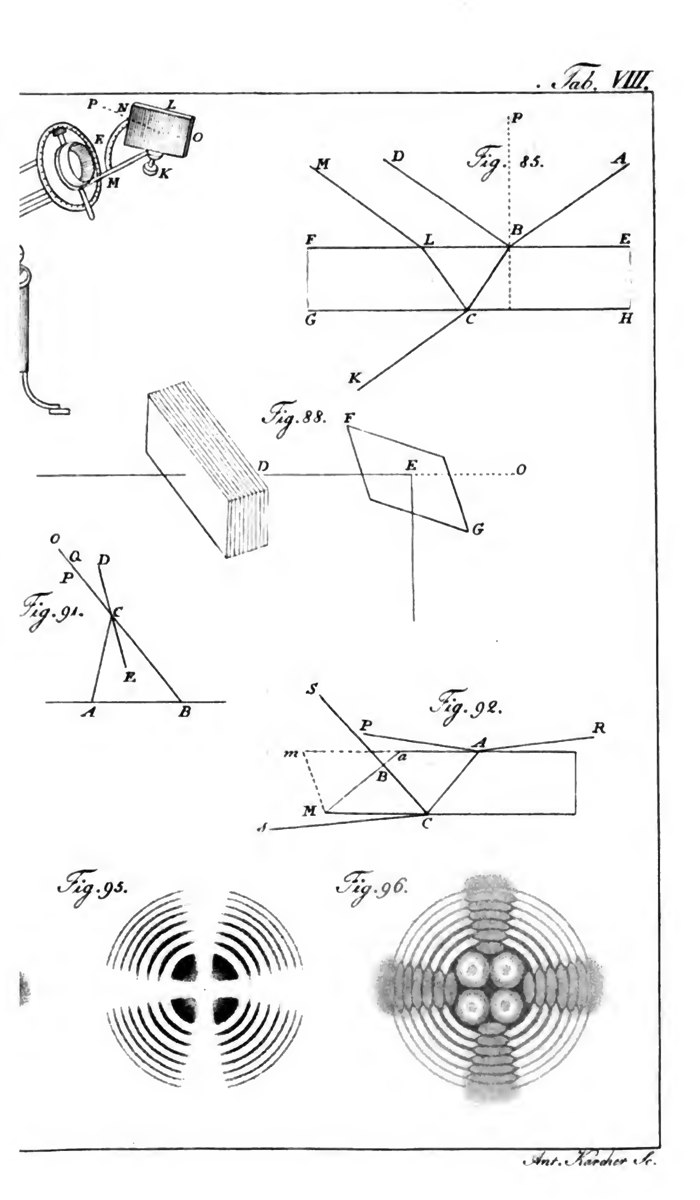
1 Vergl. *Flaschenzug*. Bd. IV. S. 430.
2 Vergl. *Reibung*.

Ende des siebenten Bandes.

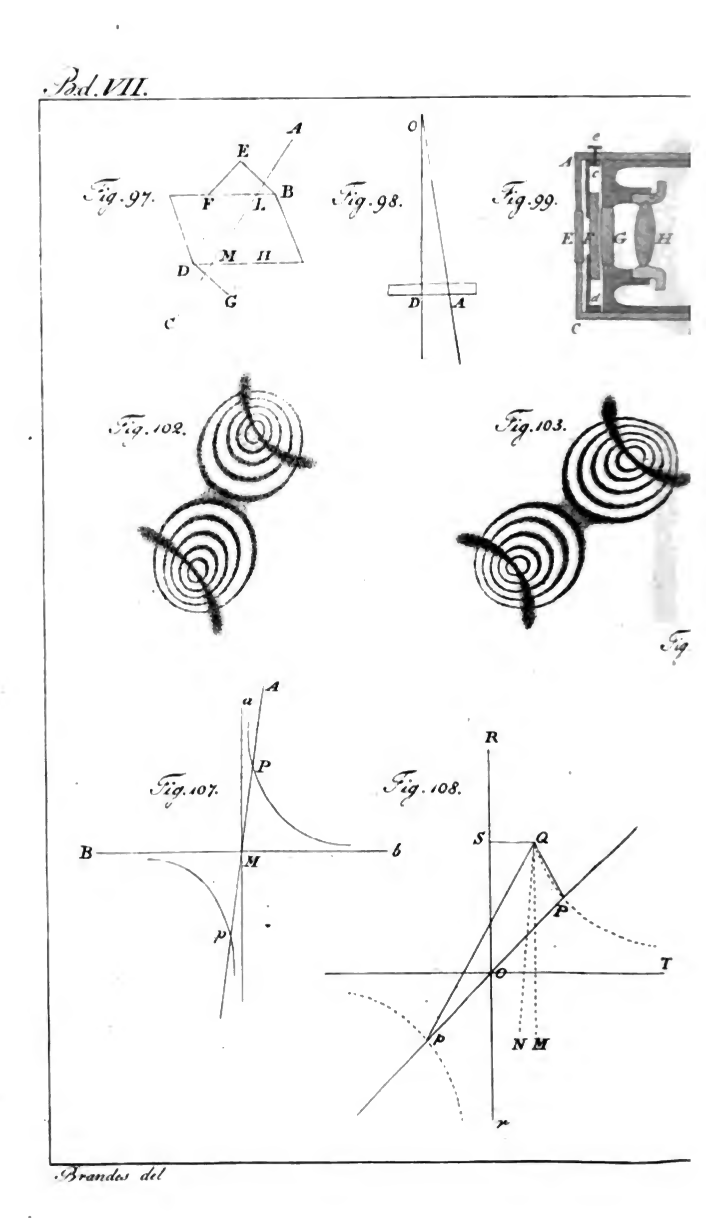
Bd. VII



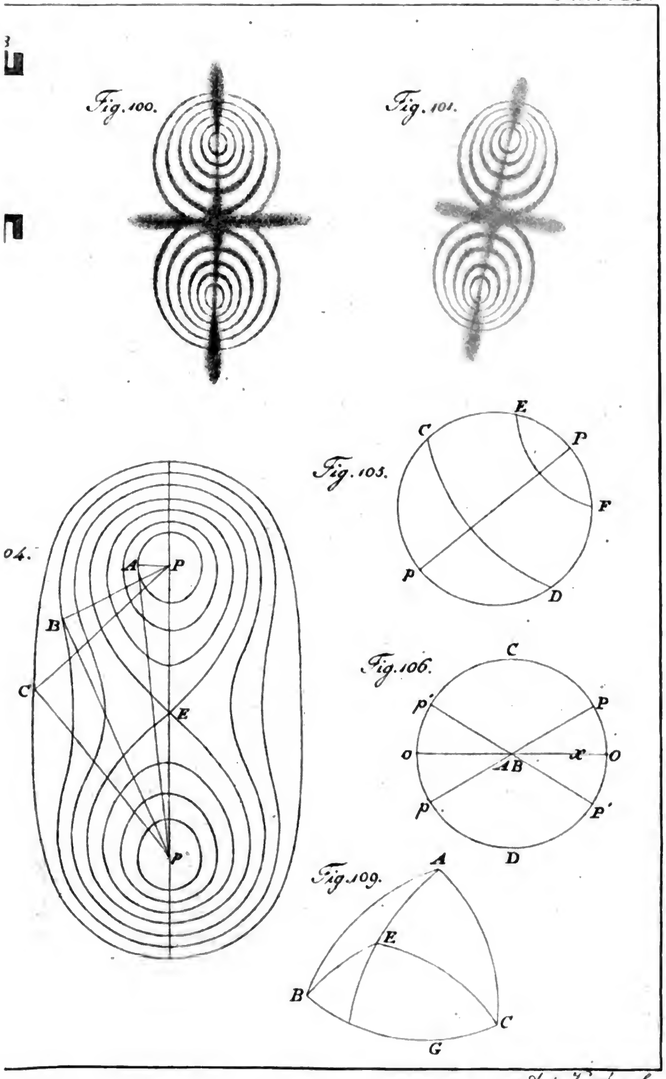
Brandes del.



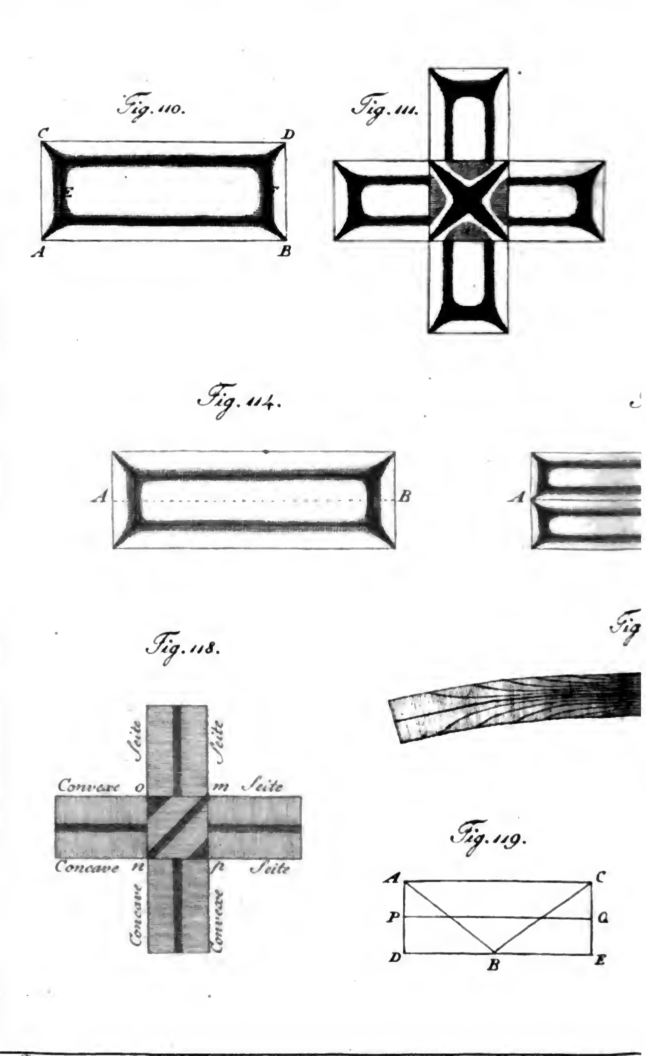
Ant. Karcher Sc.


Fig. 97.
A
E
B
F
L
M
H
D
G
C
Fig. 98.
O
D
A
Fig. 99.
e
A
c
E
F
G
H
d
C
Fig. 102.
Fig. 103.
Fig. 107.
a
A
P
B
b
M
p
Fig. 108.
R
S
Q
P
O
T
p
N
M
r

Brandes del

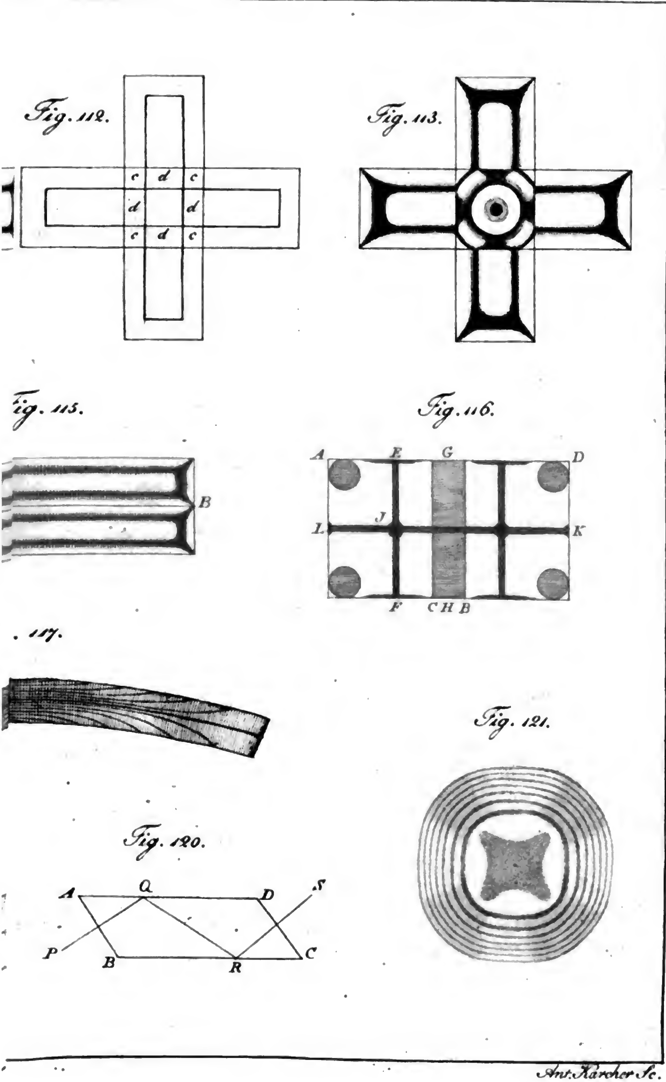


Ant. Karcher Sc.


Fig. 110.
C
D
E
A
B
Fig. 111.
Fig. 114.
A
B
A
Fig. 118.
Seite
Seite
Convexe
o
m
Seite
Concave
n
p
Seite
Concave
Convexe
Fig
Fig. 119.
A
C
P
Q
D
B
E

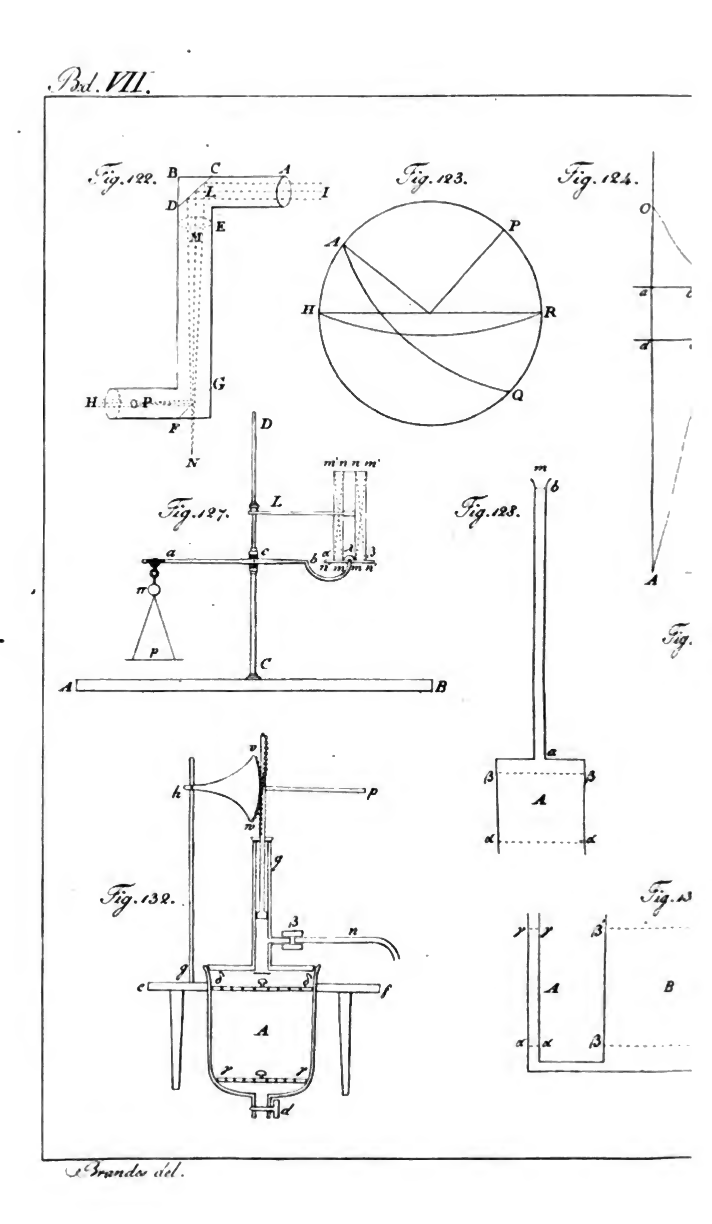
Brandes del

Tab. X.

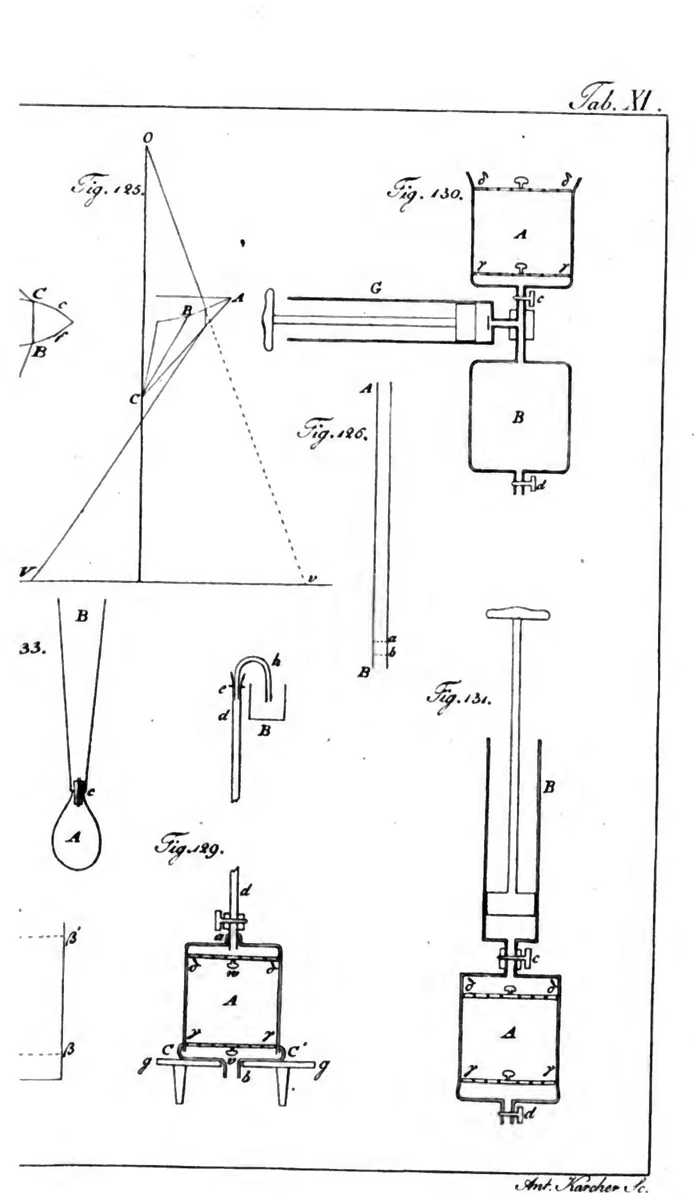


Ant. Kärcher Sc.

Bd. VII.

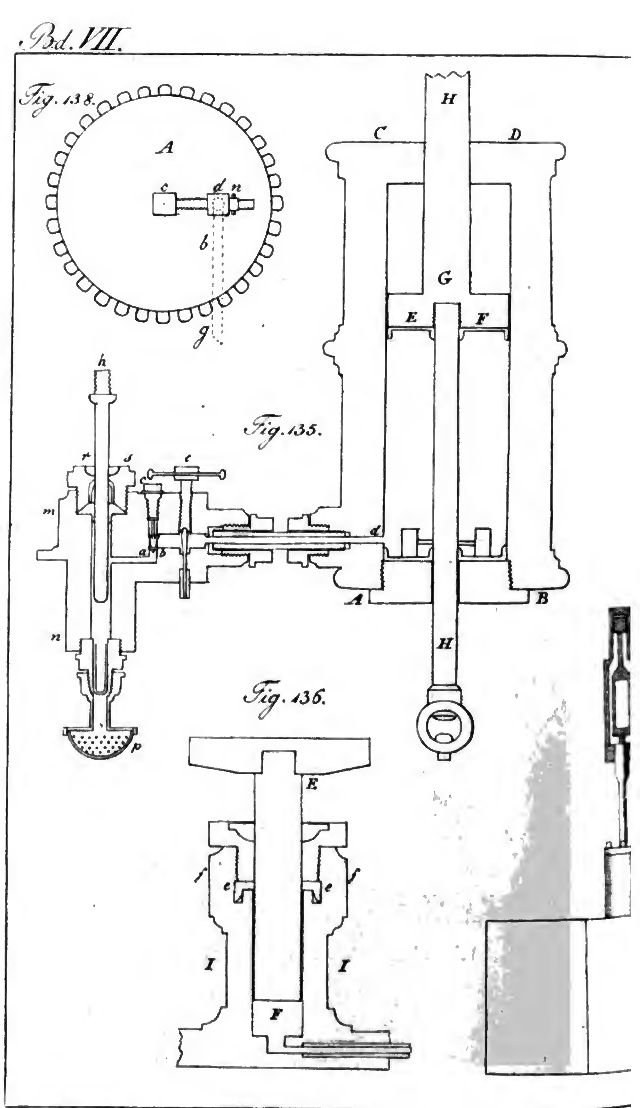


Brandes del.



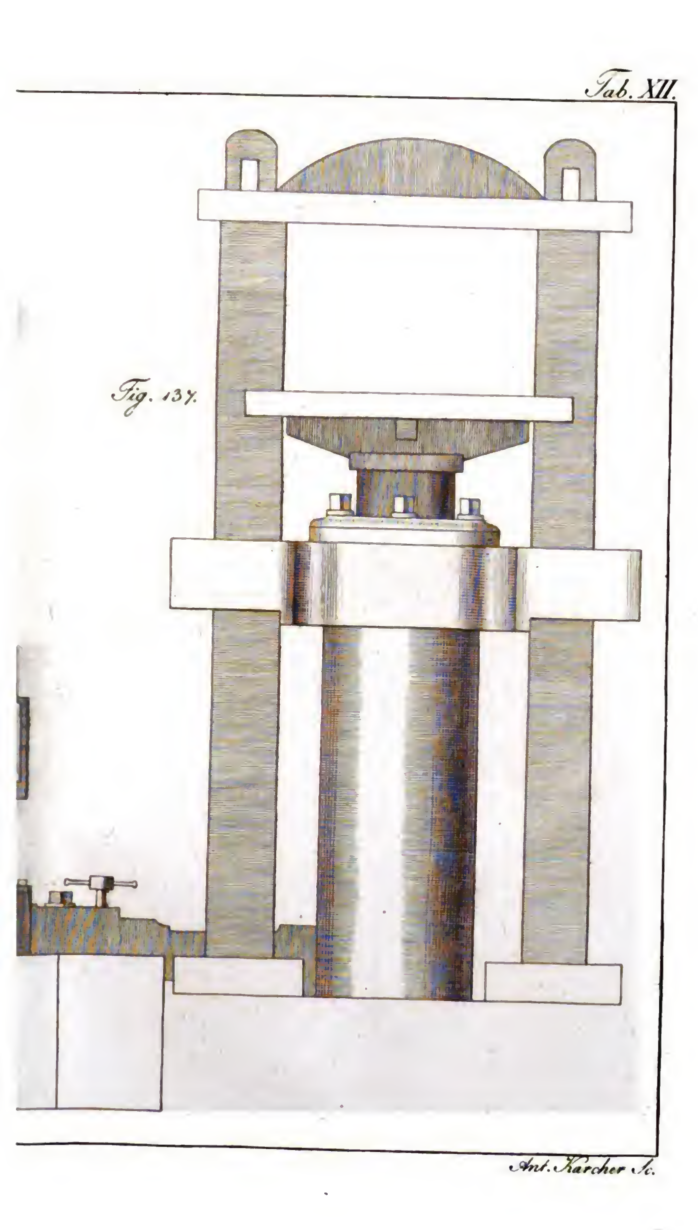
Ant. Karcher Sc.

Bd. VII.

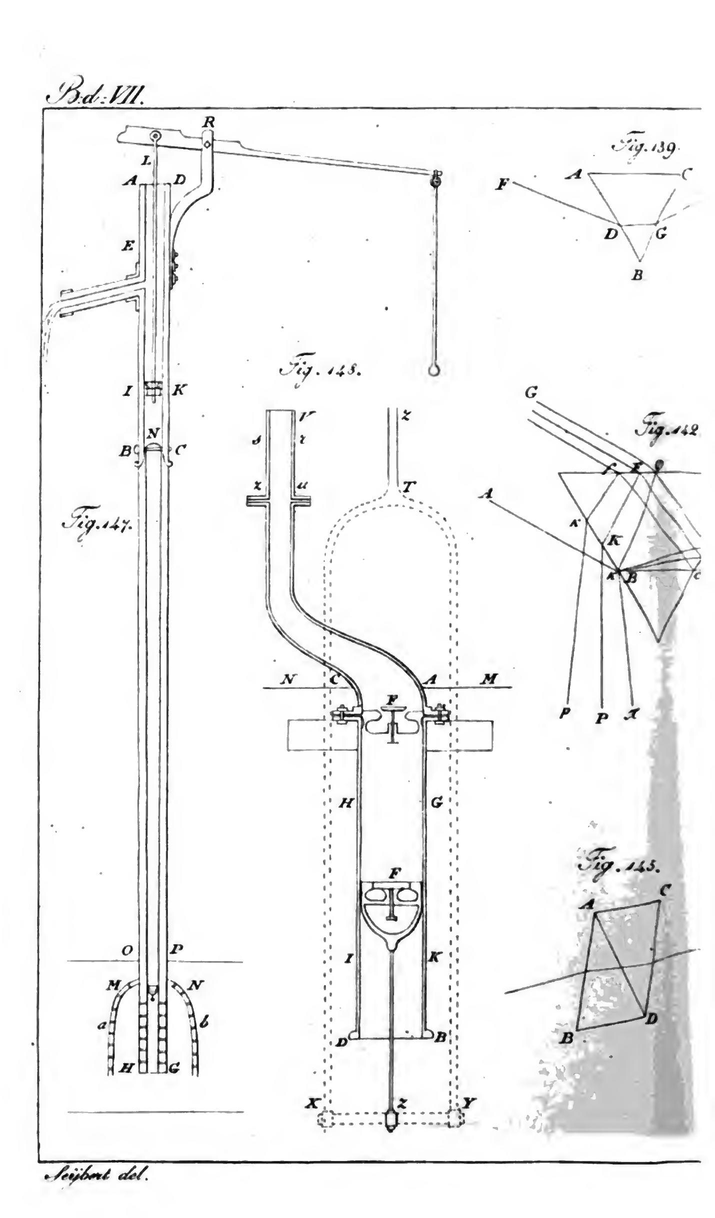


Branda del.

Tab. XII.

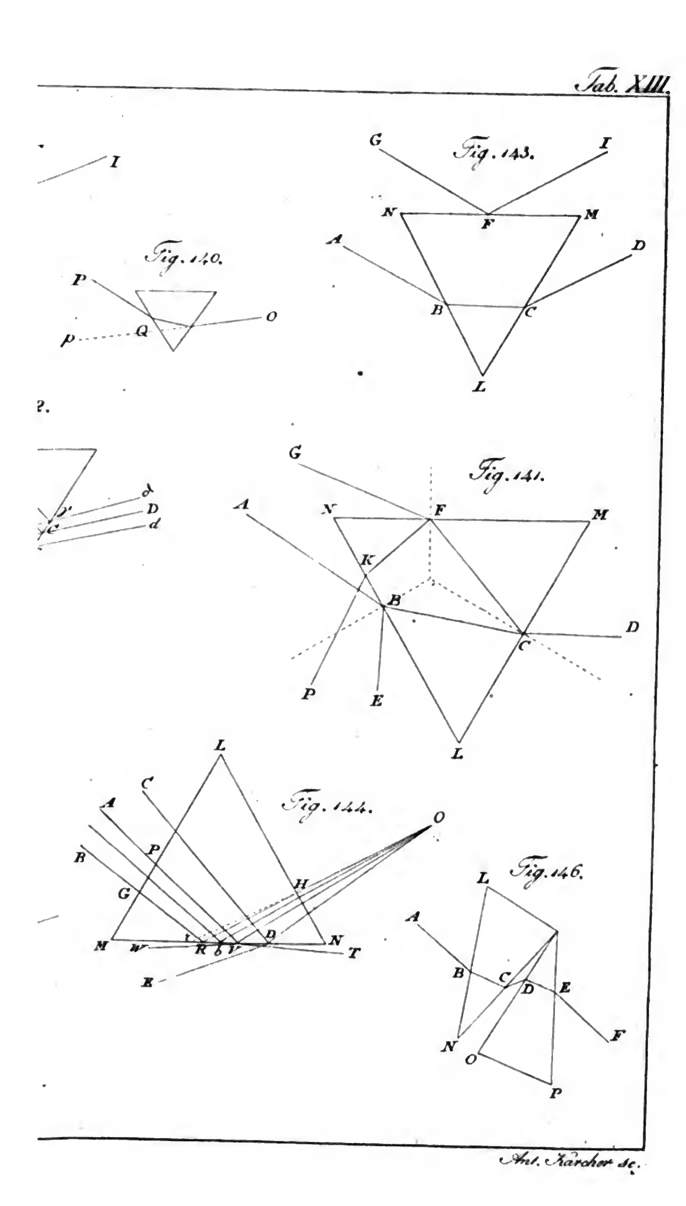


Ant. Karcher Sc.

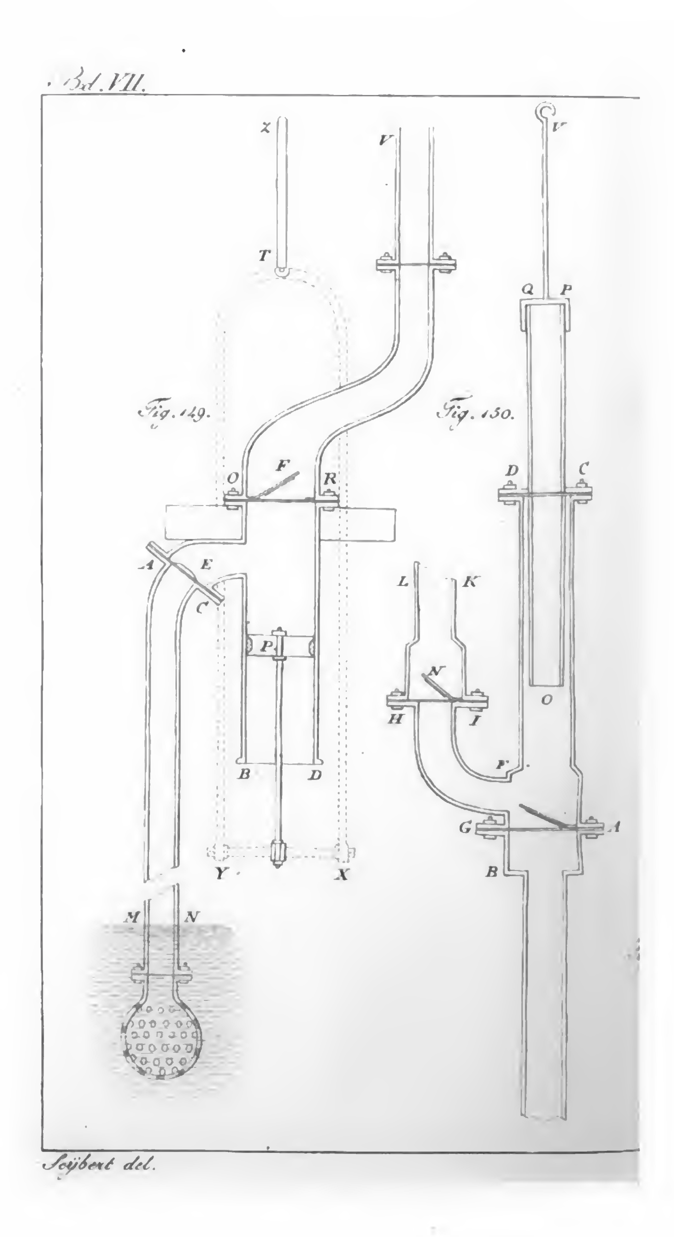


Seyfert del.

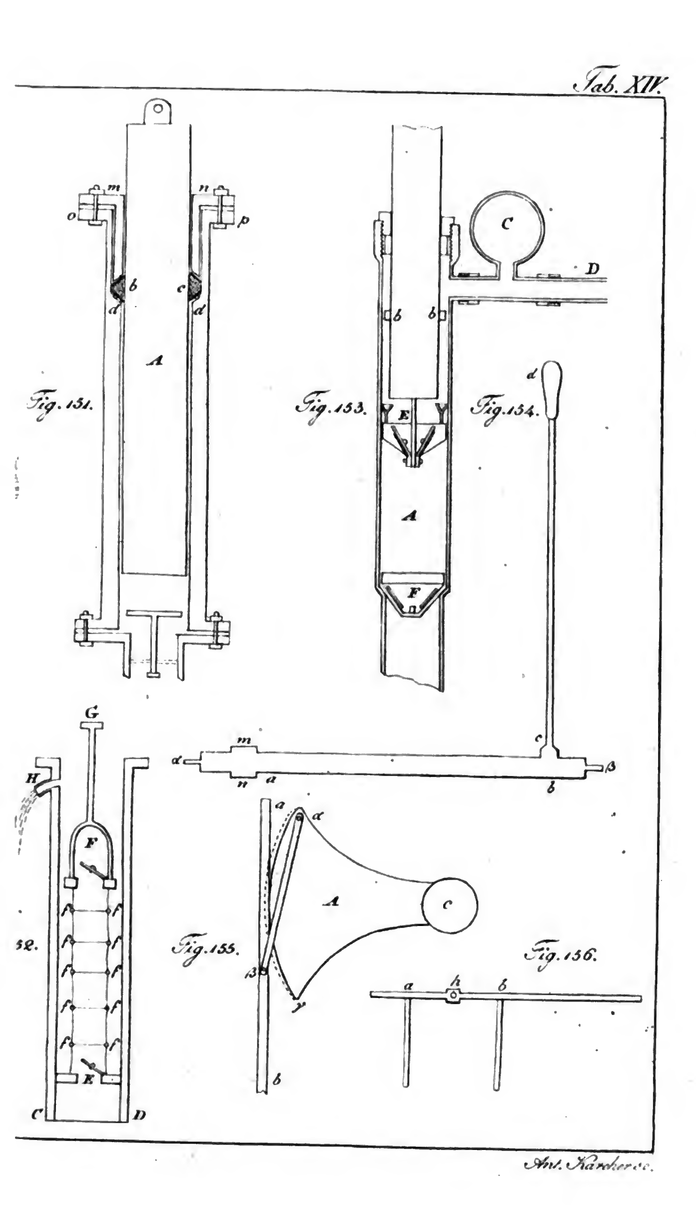
Tab. XIII.



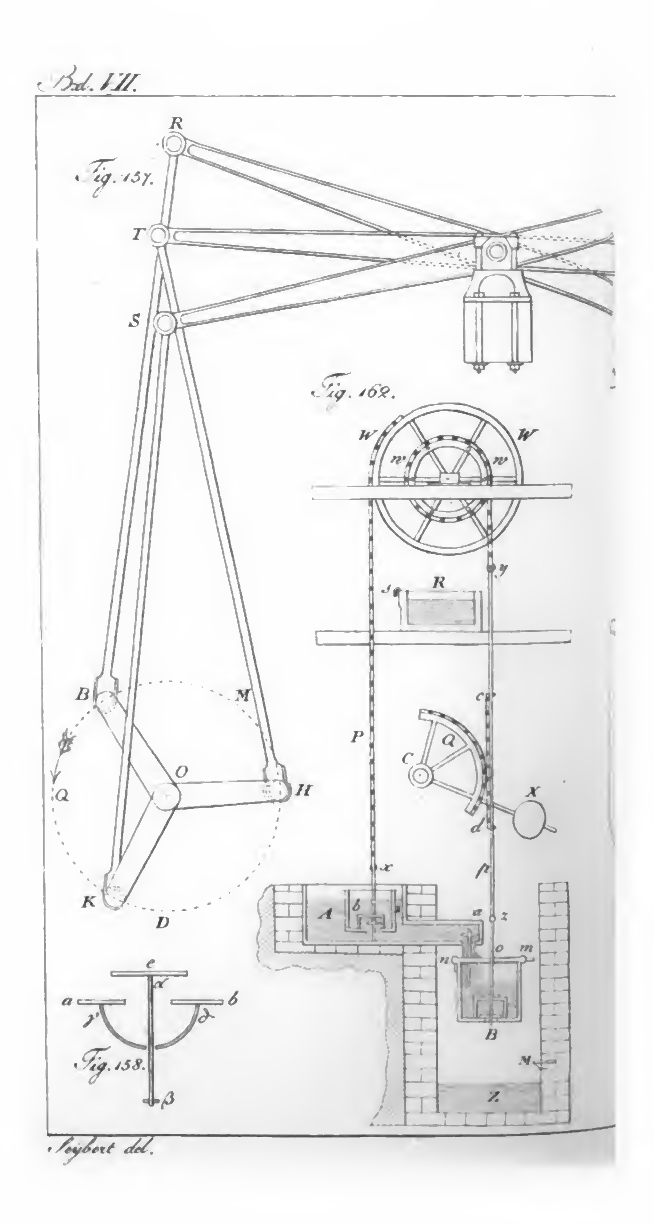
Ant. Karcher sc.



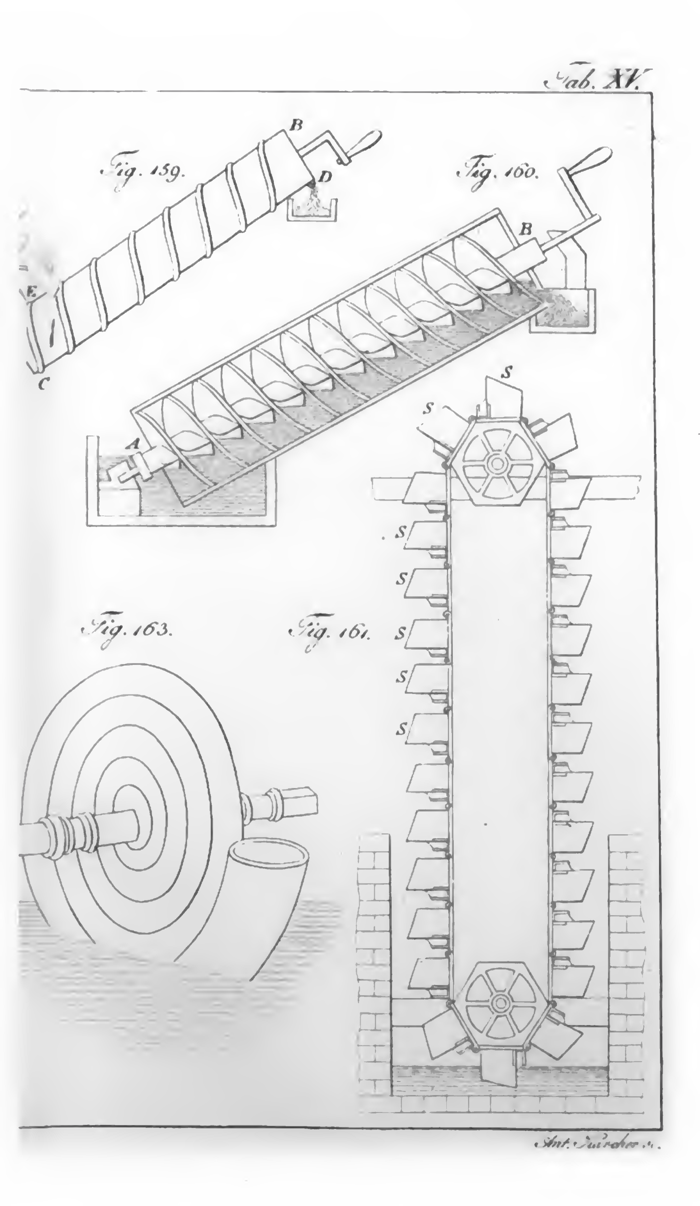
Seybert del.



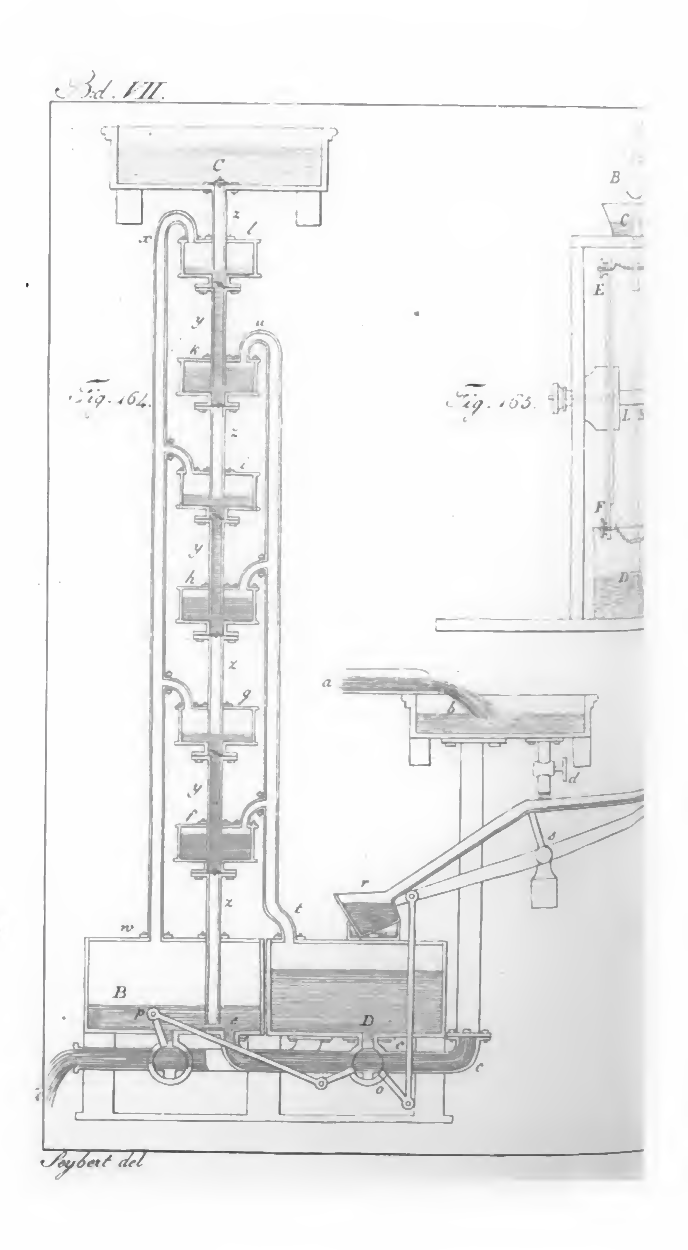
Ant. Karcher sc.



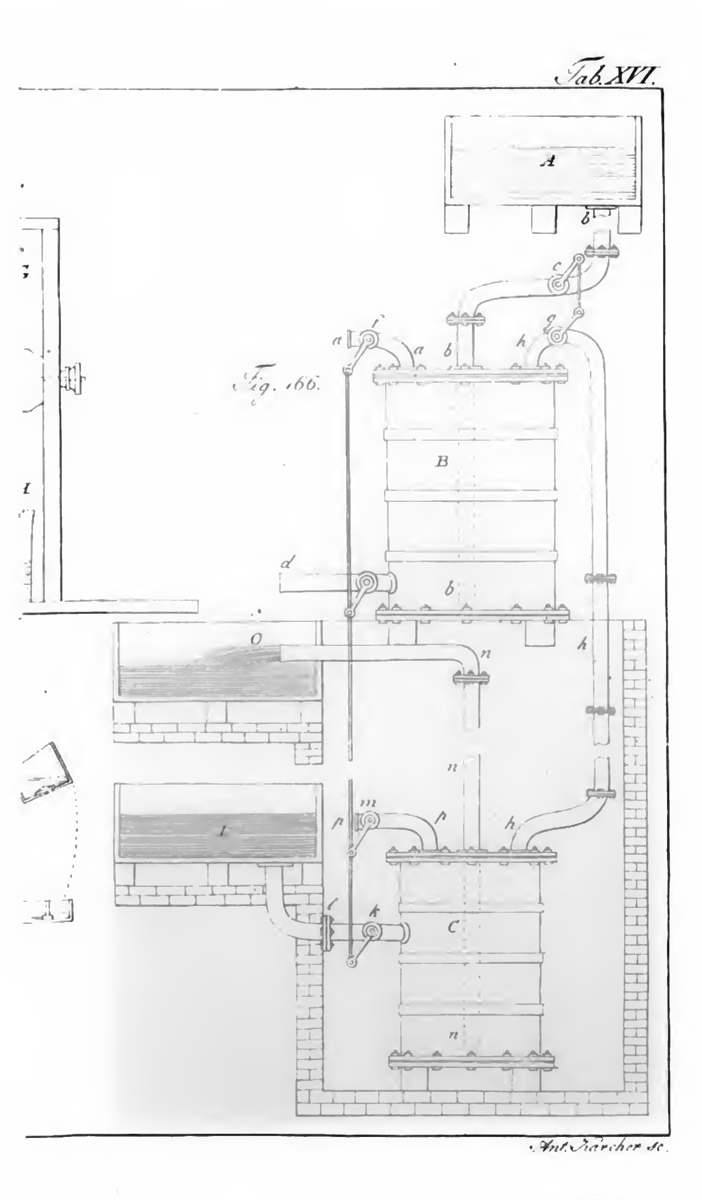
Bd. VII.
Fig. 157.
R
T
S
B
M
O
H
Q
K
D
Fig. 162.
W
W
w
w
y
R
s
c
P
Q
C
X
d
x
p
A
b
a
z
o
m
n
B
M
Z
e
α
a
b
γ
δ
Fig. 158.
β
Seybert del.



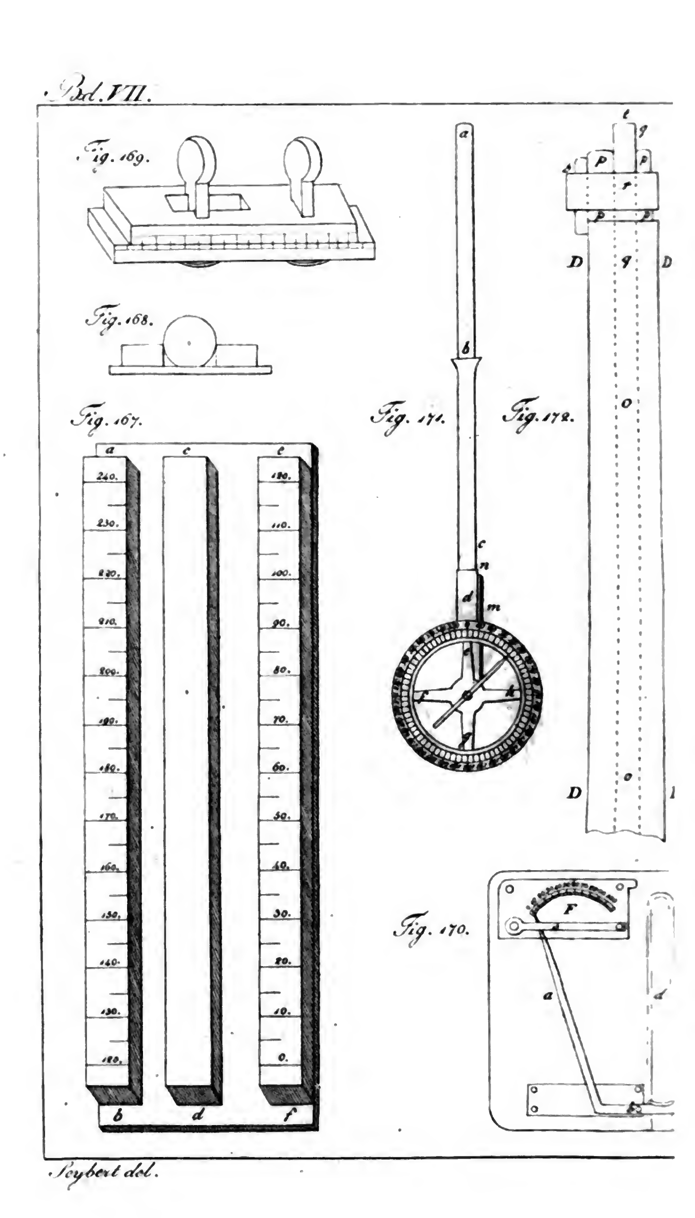
Tab. XV.
Fig. 159.
B
D
E
C
Fig. 160.
B
A
S
S
S
S
S
S
S
Fig. 163.
Fig. 161.


Bd. VII.
Fig. 164.
Fig. 165.
C
z
l
x
y
u
k
i
h
g
f
t
w
B
p
e
D
c
o
a
b
d
s
r
E
F
D
L
Seybert del

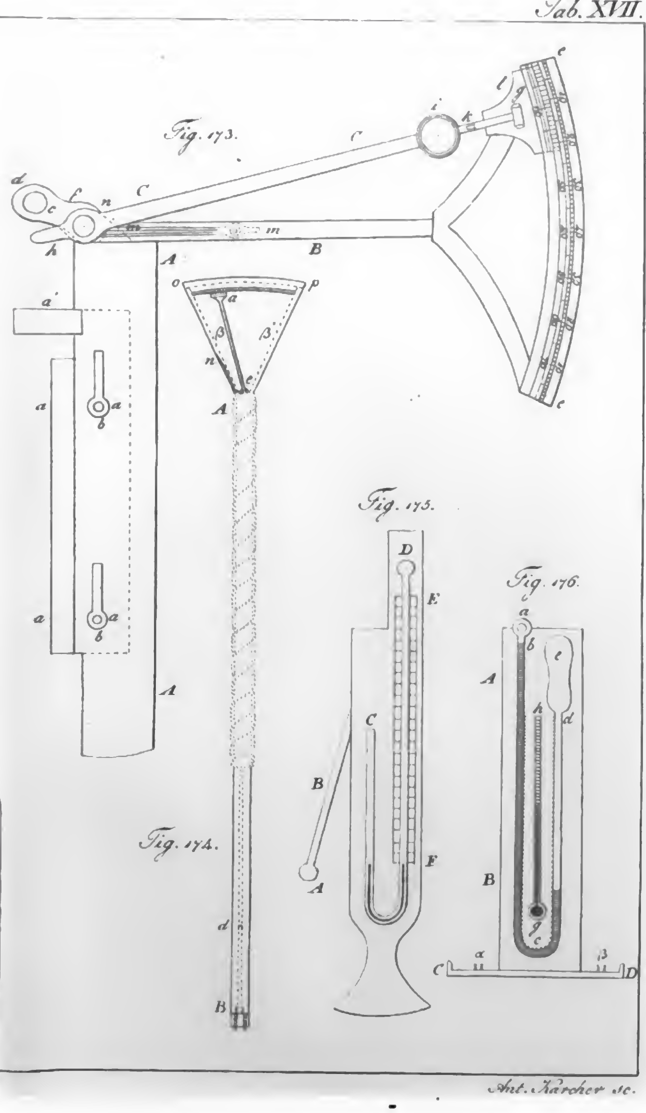
Tab. XVI.

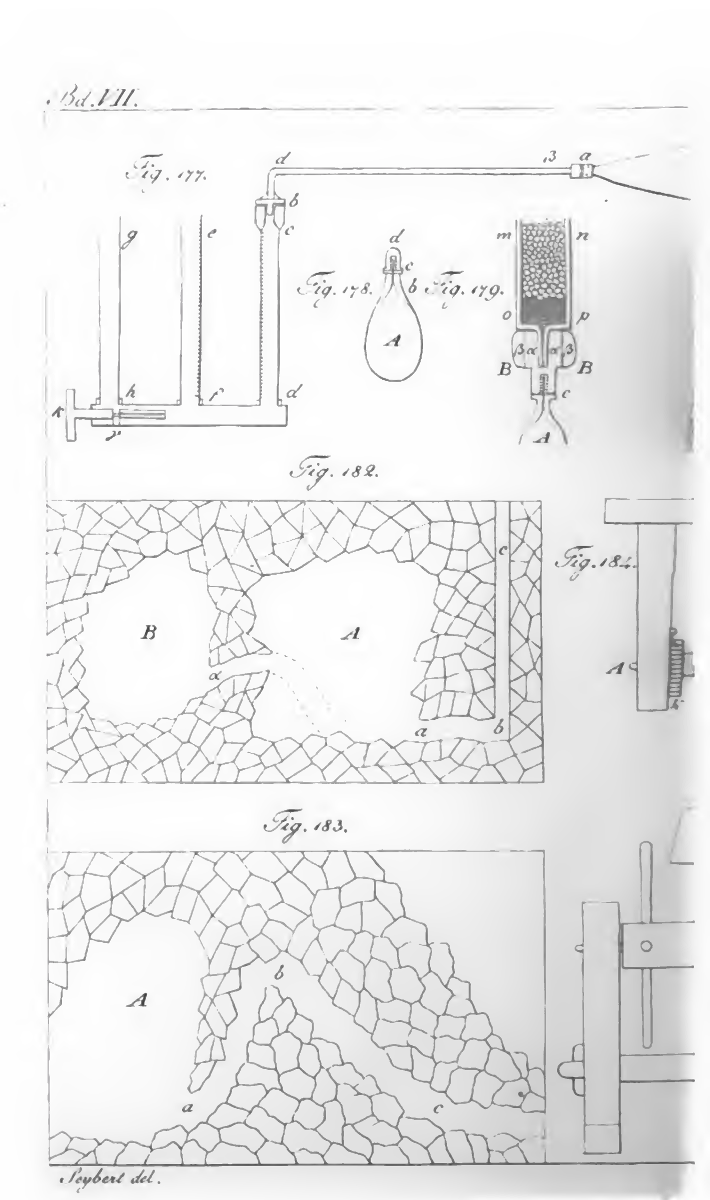


Ant. Karcher sc.

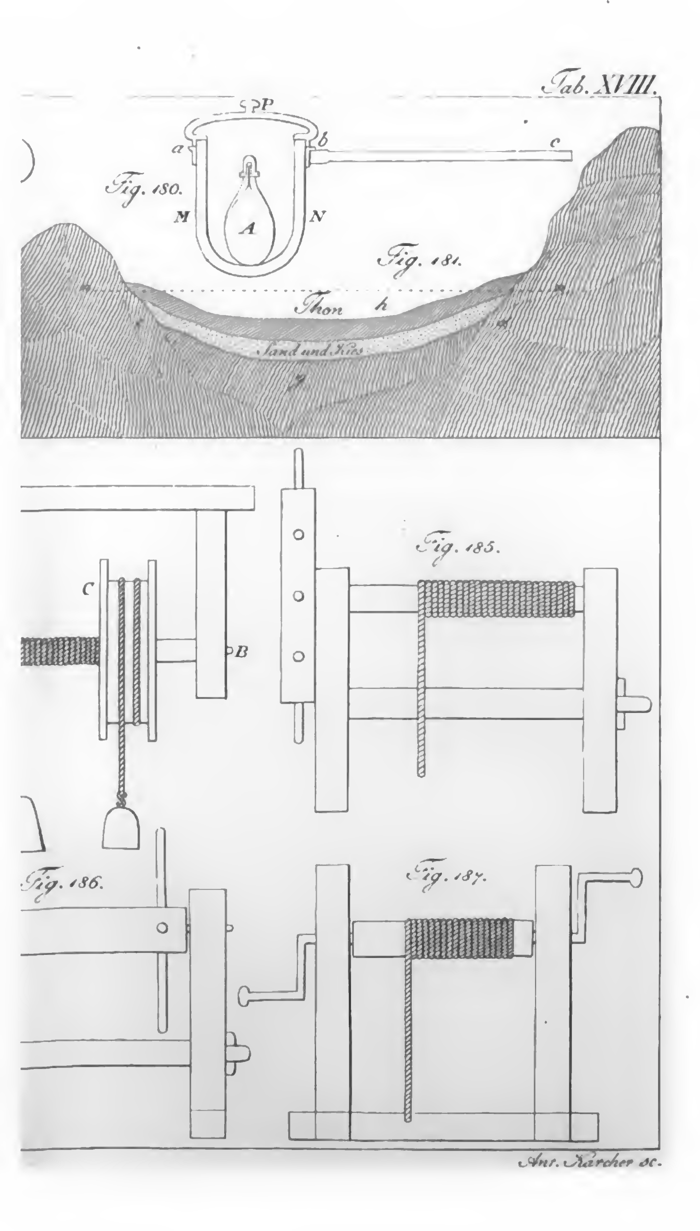

Fig. 169.
Fig. 168.
Fig. 167.
a
c
e
240.
230.
220.
210.
200.
190.
180.
170.
160.
150.
140.
130.
120.
120.
110.
100.
90.
80.
70.
60.
50.
40.
30.
20.
10.
0.
b
d
f
Fig. 171.
a
b
c
n
d
m
f
k
Fig. 172.
t
q
p
r
D
q
D
o
o
D
Fig. 170.
F
a
d

Seybert del.

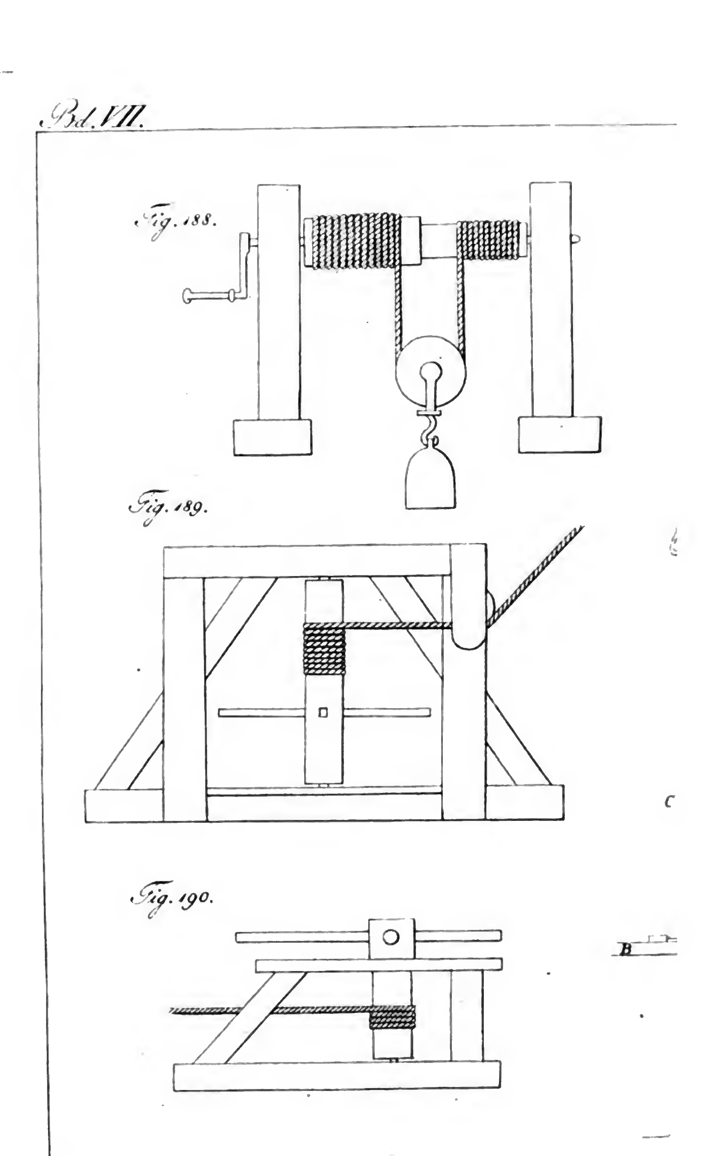

Tab. XVII.
Fig. 173.
Fig. 174.
Fig. 175.
Fig. 176.
Ant. Kärcher sc.



Seybert del.

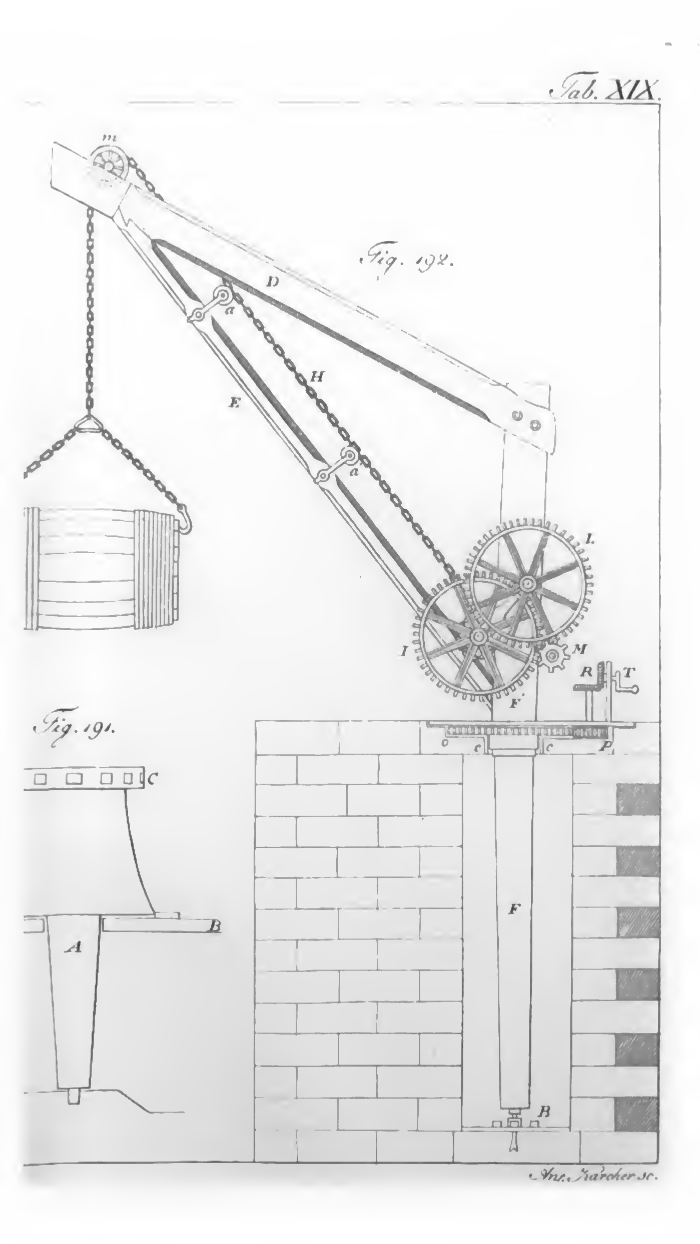


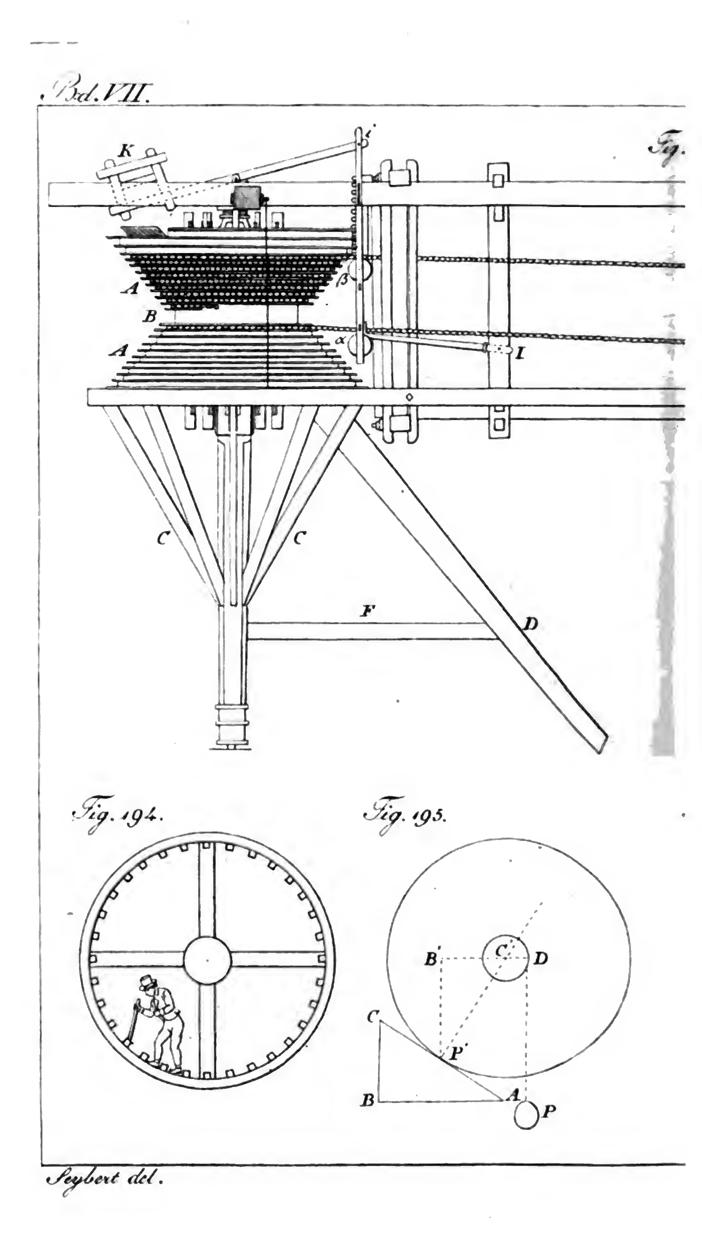
Ant. Karcher sc.



Seybert del.

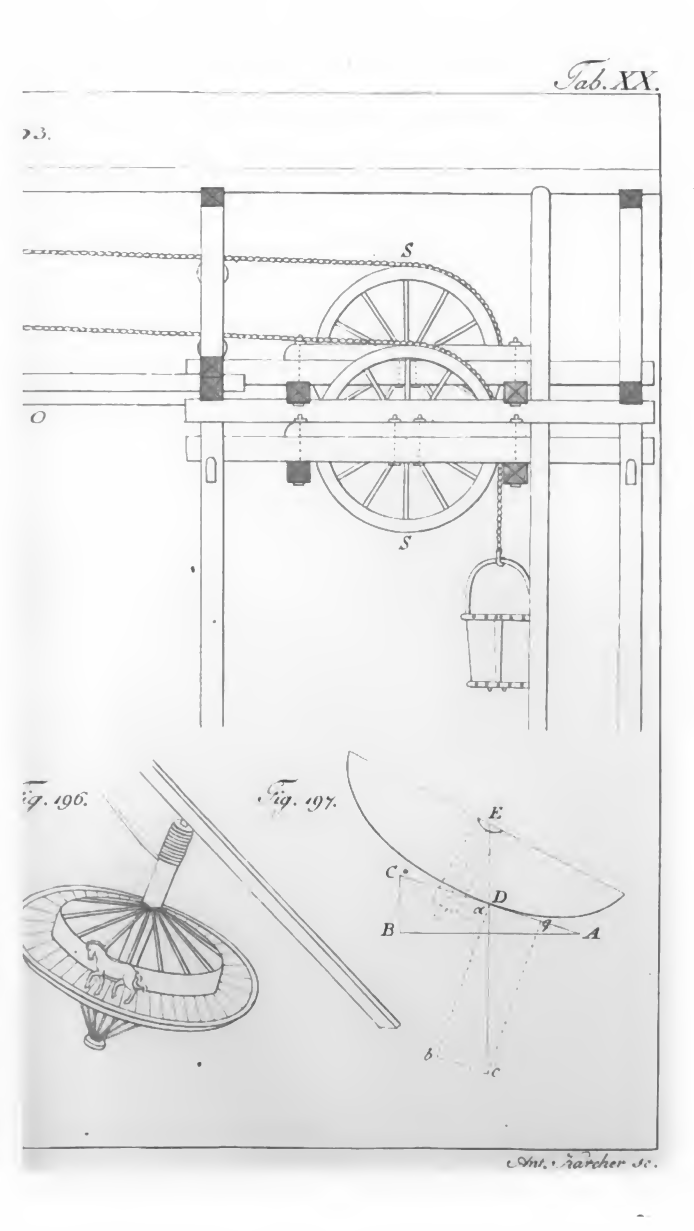
Tab. XIX.



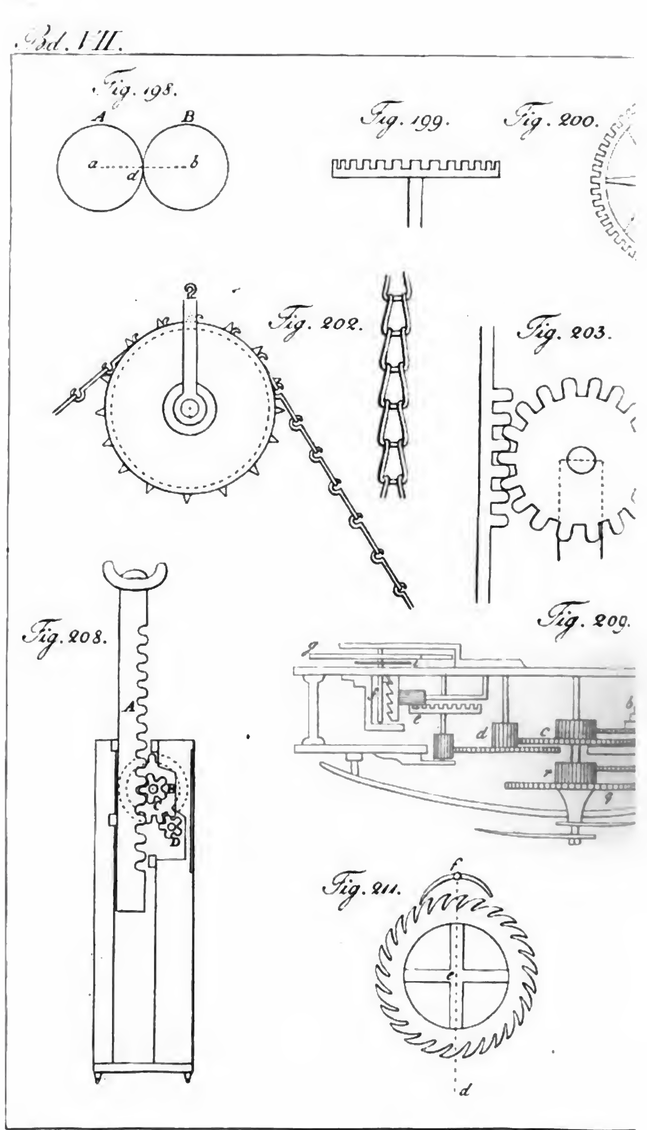


Bd. VII.
Fig.
K
A
B
A
β
α
I
C
C
F
D
Fig. 194.
Fig. 195.
B′
C
D
C
P′
B
A
P
Seybert del.

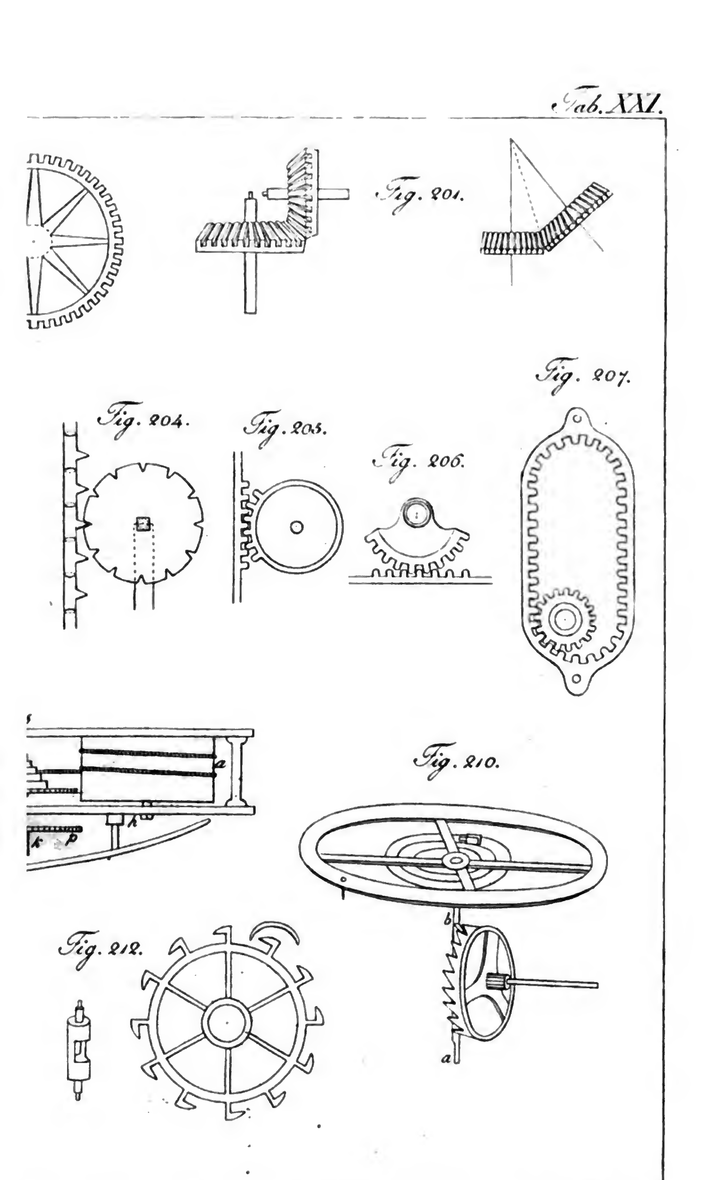
Tab. XX.



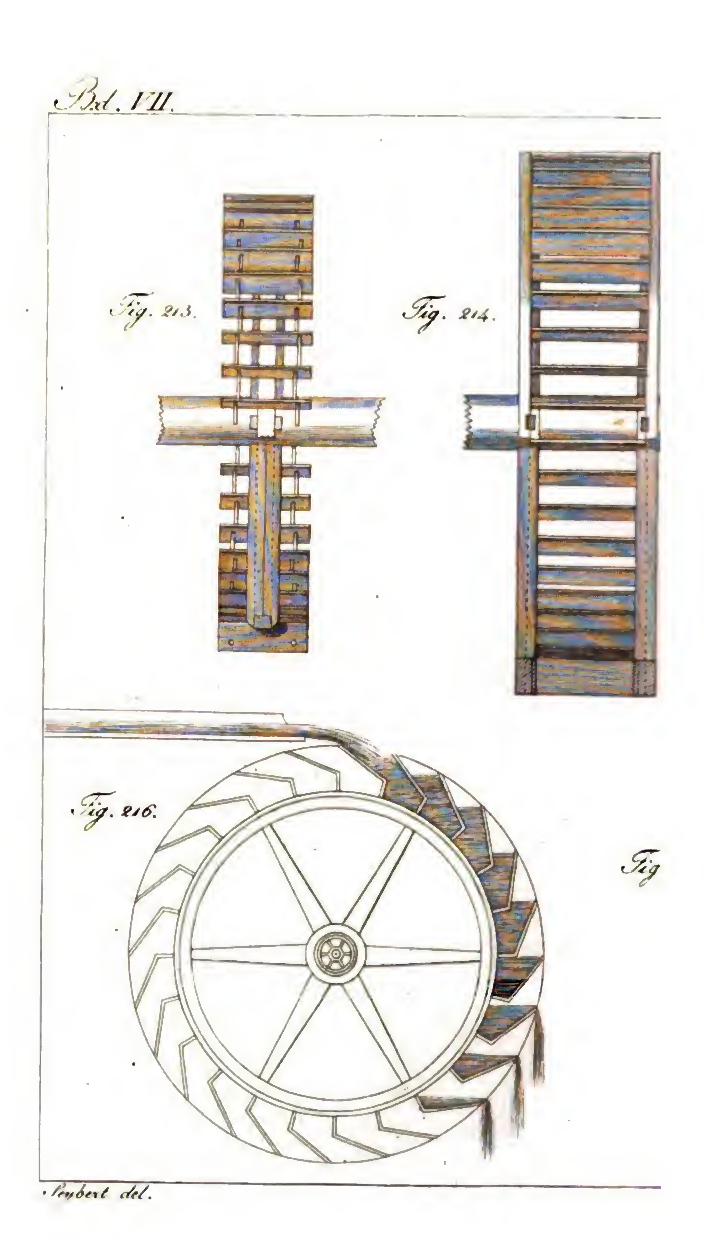
Ant. Zarcher sc.

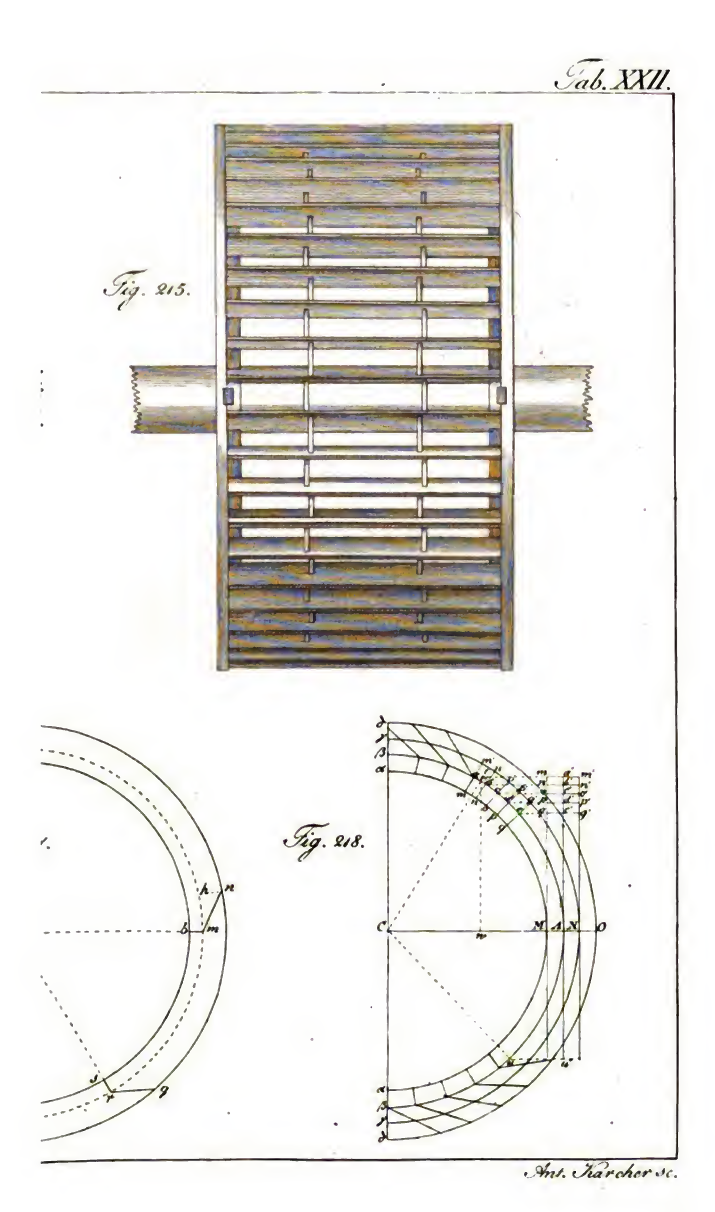

Fig. 198.
A
B
a
d
b
Fig. 199.
Fig. 200.
Fig. 202.
Fig. 203.
Fig. 208.
A
B
C
D
Fig. 209.
Fig. 211.
c
d

Seybert del.

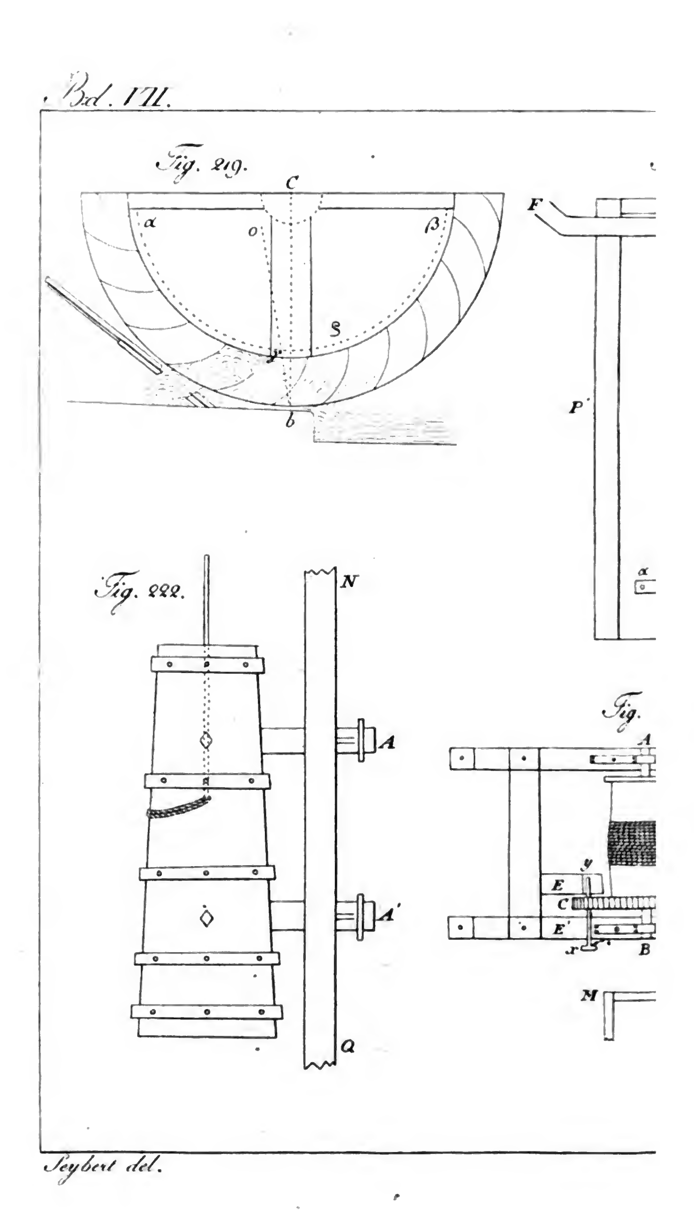


Ant. Kurcher sc.


Bd. VII.
Fig. 213.
Fig. 214.
Fig. 216.
Fig
Seybert del.



Ant. Karcher sc.



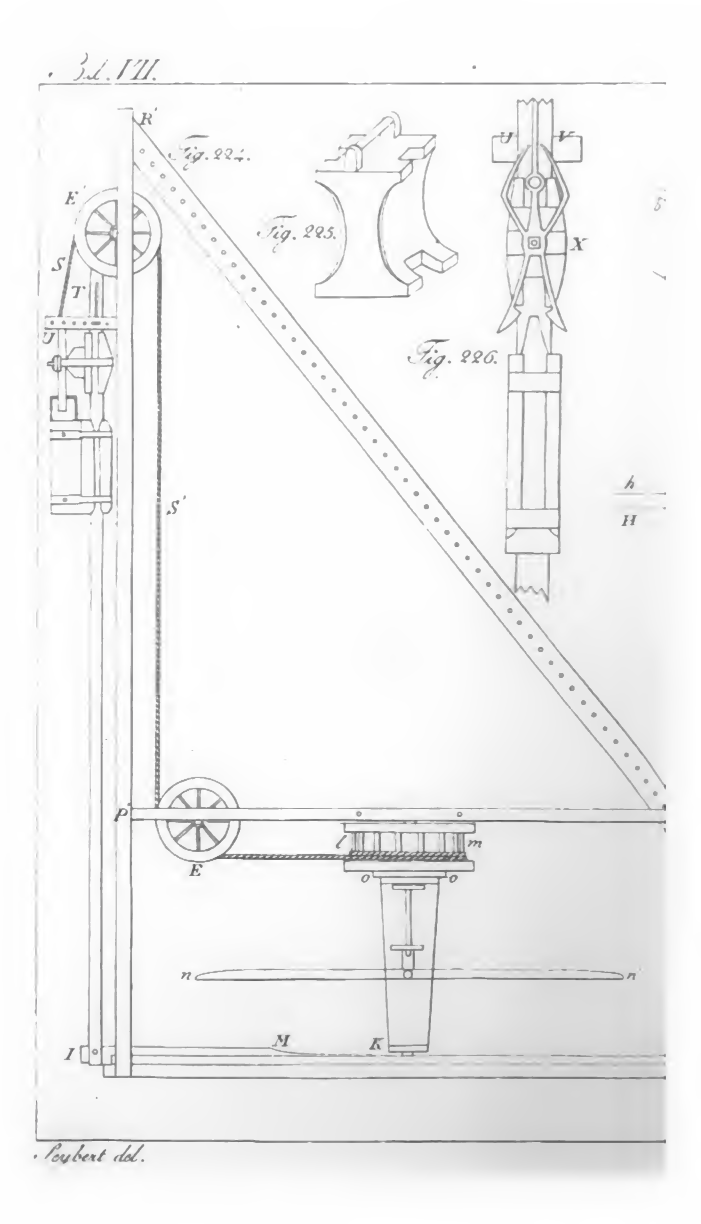
Seybert del.

Fig. 220.

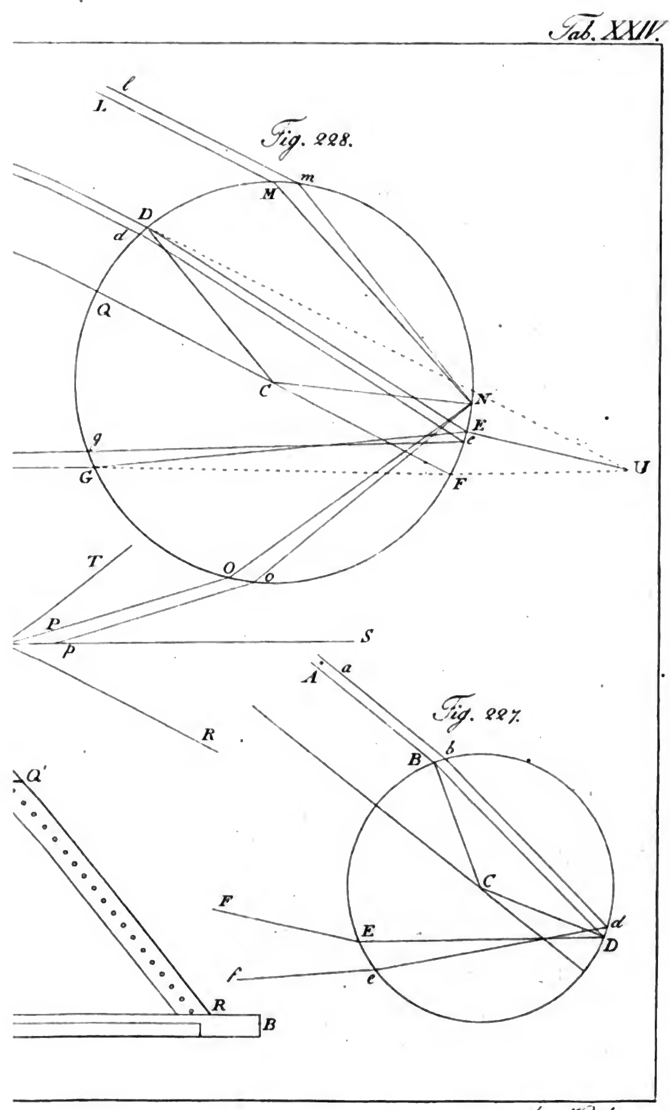
Fig. 221.

Ant. Zarcher sc.

Pl. VII.

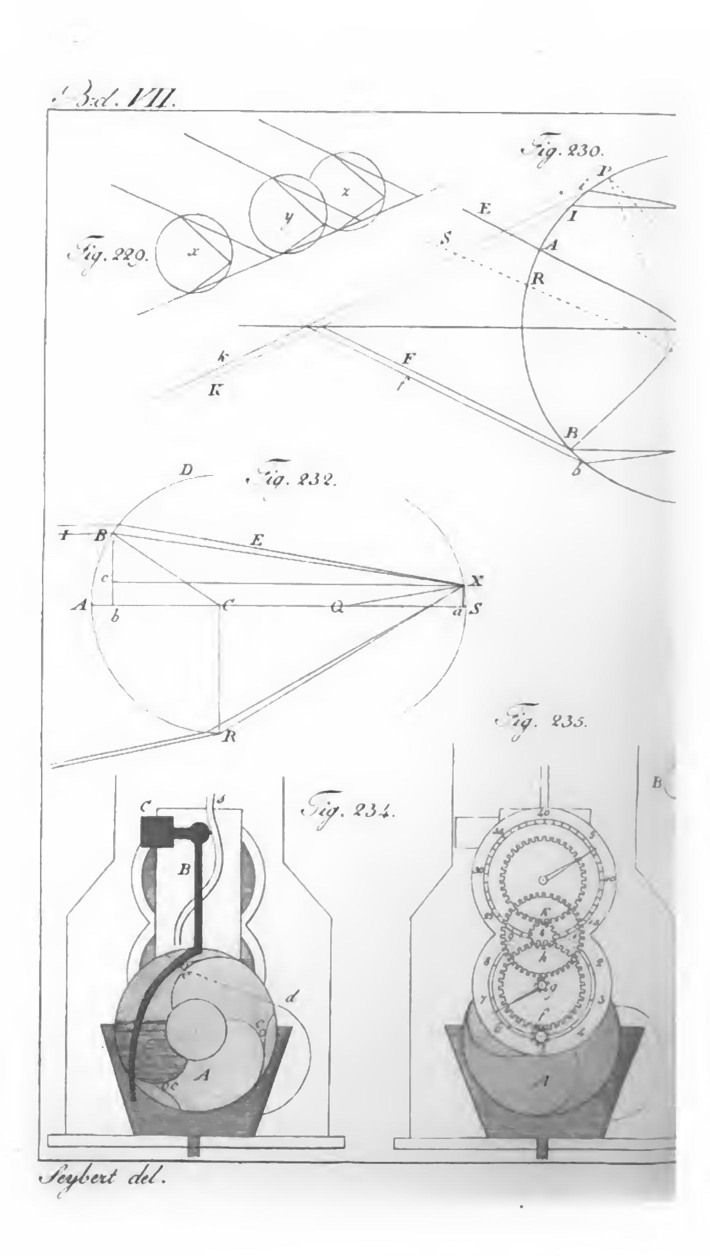


Perbert del.



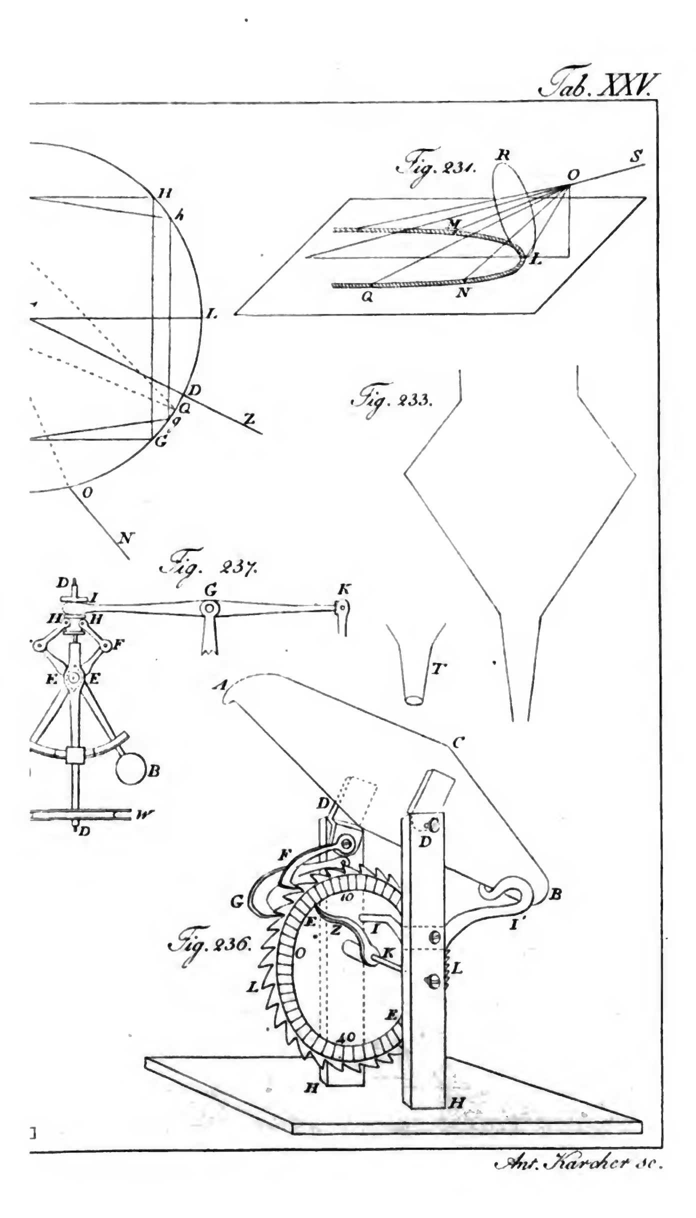
Ant. Karcher sc.

Bd. VII.



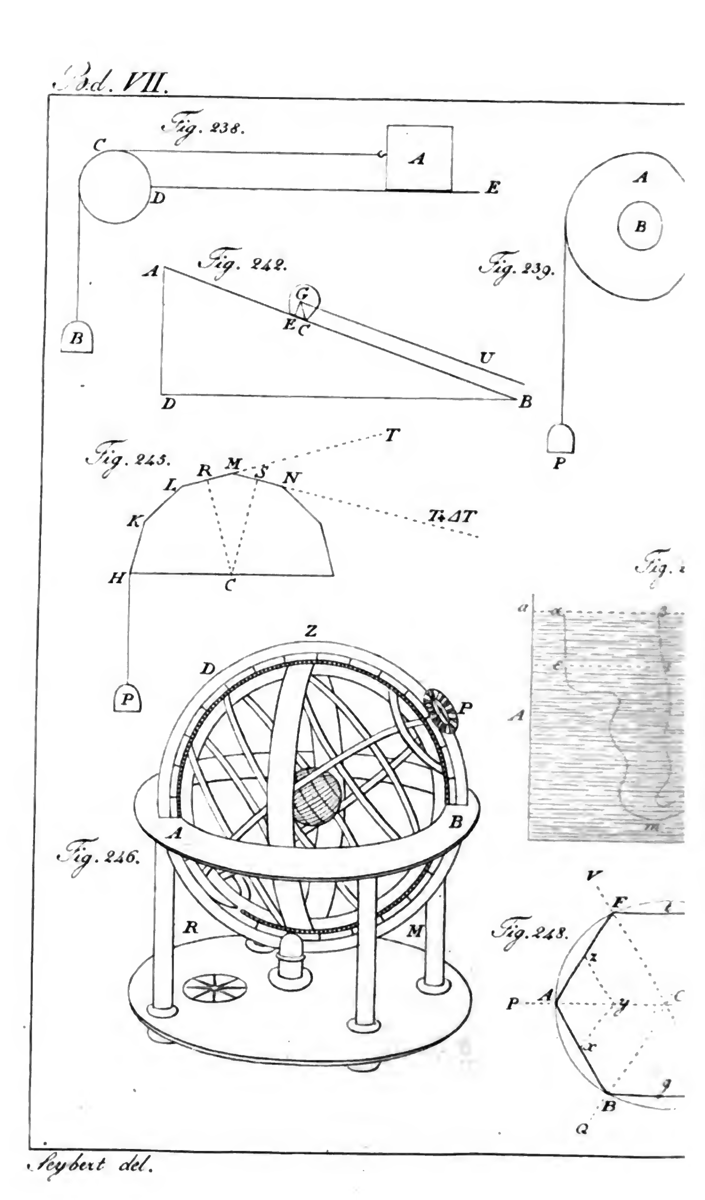
Seybert del.

Tab. XXV.

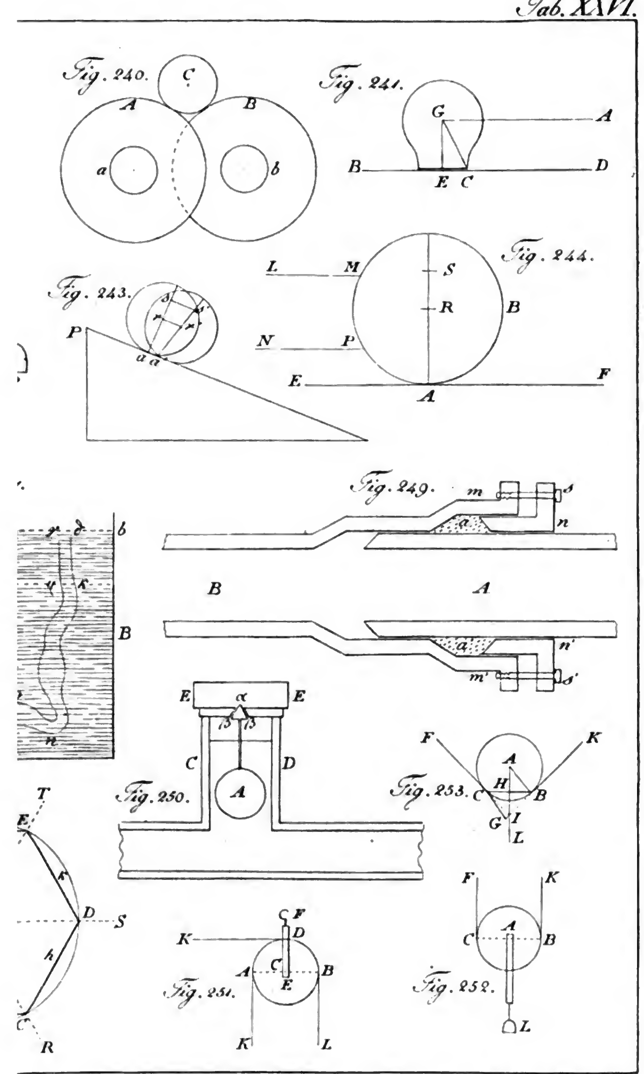


Ant. Karcher sc.

Bd. VII.



Seybert del.



Ant. Karcher sc.


LIBERTE
ET
PATRIE

